



Casa abierta al tiempo

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa

División de Ciencias Sociales y Humanidades
Posgrado en Ciencias Antropológicas

Antropología Biocéntrica

Una propuesta para reconceptualizar la relación
sociedad-naturaleza en tiempos de crisis global

Iván González Márquez

Tesis para obtener el grado de:
Doctorado en Ciencias Antropológicas

Director de Tesis:
Dr. Leonardo Tyrtania Geidt

Comité de Tesis:
Dr. Narciso Barrera-Bassols
Dr. Francisco Gómez Rábago
Dr. Pedro Antonio Ortíz Báez

México, D.F.

Marzo de 2016

Índice

Introducción	7
Un mundo derrumbándose	7
Una cosmovisión fracturada	9
Antropología biocéntrica	16
1. Evolución del Universo	23
1.1. ¿Qué es el Universo?	23
1.1.1. El <i>Big Bang</i>	25
1.1.2. El nacimiento de estrellas y planetas	27
1.1.3. Atomismo y dualismo metafísico	29
1.1.4. El mundo-máquina	32
1.1.5. Teoría general de la relatividad	34
1.1.6. Mecánica cuántica	35
1.1.7. Realidad y observador	39
1.2. ¿Hacia dónde va el Universo?	41
1.2.1. Tiempo y termodinámica	41
1.2.2. Termodinámica de no-equilibrio	47
1.2.3. Orden a partir del caos	50
1.2.4. ¿"Muerte térmica" del Universo?	56
1.2.5. Los límites del conocimiento	58
ANEXO A – Entropía y caos	61
ANEXO B – Entropía e información	65

2. Evolución de la Vida	68
2.1. ¿Qué es la Vida?	73
2.1.1. Autopoiesis	77
2.1.2. Facultad cognoscitiva	83
2.1.3. Intencionalidad	93
2.2. Historia de la Vida	106
2.2.1. Origen de la vida	106
2.2.2. Evolución darwiniana	114
2.2.3. Direccionalidad de la evolución	128
2.2.4. Un planeta extraño	136
2.2.5. Biósfera bacteriana	140
2.3. ¿Hacia dónde va la Vida?	146
2.3.1. Crecimiento limitado	146
2.3.2. El principio de Gause	151
2.3.3. Diversificación y articulación	154
2.3.4. El Principio de Lotka	157
2.3.5. Crecimiento, estabilización y decrecimiento	180
2.3.6. Sucesión ecológica	189
2.3.7. Interdependencia y equilibrio <i>interspecies</i>	204
2.3.8. Integración simbiótica y selección multinivel	210
2.3.9. Ecosistema global	218
2.4. El sentido de la Vida	231
2.4.1. Redefiniendo el progreso evolutivo	231
2.4.2. El propósito de la Vida	244

3. Evolución Humana	265
3.1. ¿Qué es un ser humano?	265
3.1.1. La insospechada aparición del cerebro	270
3.1.2. La improbable suerte de los mamíferos	284
3.1.3. Curiosidades del mundo mamífero	292
3.2. ¿Hacia dónde va la humanidad?	304
3.2.1. Progreso civilizatorio y evolucionismo	304
3.2.2. Progreso civilizatorio y termodinámica	316
3.2.3. Los “grandes relatos”	341
3.2.4. Historia y evolución	344
3.2.5. Progreso y direccionalidad	347
3.2.6. Resumen: discusiones sobre progreso y direccionalidad	349
3.2.7. Redefiniendo el progreso para los humanos	357
3.3. Historia de la humanidad	364
3.3.1. Cazadores, recolectores, pescadores	364
3.3.2. Agricultores, pastores	384
3.3.3. Civilización	394
3.3.4. Industrialización y globalización	402
3.3.5. Crisis ecosocial global	413
3.4. Justificaciones de la dominación: historia de la cosmovisión Occidental	434
3.4.1. Antecedentes premodernos	437
3.4.2. Modernidad temprana	441
3.4.3. Modernidad avanzada	453
3.4.4. Contestación y reacomodo en tiempos de crisis global	499
3.5. ¿ <i>Homo sapiens sapiens</i> ?	523
Conclusiones	527
Bibliografía	544

Introducción

¿Escucharon?

Es el sonido de su mundo derrumbándose. Es el del nuestro resurgiendo.

El día que fue el día, era noche. Y noche será el día que será el día.

CCRI-EZLN¹

Un mundo derrumbándose

En el ominoso escenario que se ilumina una vez abiertos los telones del siglo XXI, el drama humano parece haber alcanzado un punto crítico. La narrativa épica y triunfalista del Progreso de la Humanidad se interrumpe titubeante ante la posibilidad de un desenlace trágico...

En los años 70's, un equipo internacional de científicos se reunió para consultar al Oráculo moderno preguntando por el futuro de la civilización. Utilizadas por primera vez para modelar la dinámica ecosocial a nivel global, las supercomputadoras del MIT² presentaron una visión perturbadora: lo que creíamos que era la senda del Progreso —sobre la cual avanzamos prodigiosamente en el siglo XX— en realidad nos está conduciendo hacia un precipicio de profundidad desconocida. Lo que se suponía que era la estrategia “más racional” y “más apta para la supervivencia” —el desarrollo civilizatorio-industrial— se reveló como lo más irracional y peligrosamente (auto)destructivo.

¹ Comunicado del Comité Clandestino Revolucionario Indígena - Comandancia General del Ejército Zapatista de Liberación Nacional, México, diciembre de 2012.

² El Instituto de Tecnología de Massachussets.

En los encabezados de los periódicos del momento se leyó: “Una computadora mira al futuro y tiembla”.

A partir de ese momento, incontables informes científicos se han sumado respaldando dicha visión, aportando cada vez mejores datos y haciendo predicciones cada vez más preocupantes. Como expondré, existen elementos suficientes para afirmar que, como consecuencia imprevista del desarrollo de la civilización industrial, nos encontramos ahora en medio de la mayor extinción masiva de especies en —al menos— los últimos 65 millones de años, y ante la perturbación ecológica más profunda que la biósfera ha experimentado en ese mismo periodo, lo que implica la mayor amenaza para la supervivencia que las civilizaciones humanas han enfrentado: posiblemente el final de su breve pero intensa historia (10 mil años).

Y sin embargo, casi cincuenta años después de aquellos primeros informes, la civilización moderna no ha cambiado de rumbo, al contrario, ha acelerado la marcha hacia el precipicio. ¿Cómo puede ser esto posible? Nos han dicho que el enorme éxito adaptativo de la civilización moderna se debe precisamente a su extraordinaria capacidad para cuestionar todos los dogmas eligiendo siempre las creencias más racionales y mejor sustentadas por la evidencia científica, ¿no es así? Pues bien, en la encrucijada actual, ante la abrumadora evidencia de que la civilización ha tomado un camino equivocado, nos aferramos irracionalmente a algunas ideas básicas sobre nuestra relación con la Naturaleza. Llama la atención como, incluso hoy en día, pareciera imposible cuestionar la idea de que *la expansión de la Civilización —entendida como la progresiva dominación de la Naturaleza— sea el (único) camino del Progreso*. Como el pez que difícilmente nota el agua en la que se mueve, nuestra fe en el Progreso Civilizatorio es tan ampliamente aceptada que ni siquiera notamos su influencia. Estamos tan acostumbrados a entender así el mundo que cualquier visión alternativa resulta impensable.

Sin embargo, una crisis de semejante magnitud debe hacernos repensarlo todo: repensar la dirección que hemos señalado como “progreso”, repensar el ideal de dominación sobre los otros (humanos y no humanos) como noción de

éxito, repensar nuestra idea de nosotros mismos como especie, repensar nuestra visión del mundo y del lugar que ocupamos en él. Mientras mantengamos una actitud cerrada y dogmática al respecto, seguiremos avanzando ciegamente hacia el precipicio, creyendo que sólo existe un único camino y que además no hay retorno posible. En estos momentos de profunda confusión, resulta urgente mirar el terreno bajo una luz distinta y trazar un nuevo mapa que nos oriente hacia otros horizontes de esperanza...

Una cosmovisión fracturada

En tanto que estudio del *anthropos*, la antropología como ciencia ha enfrentado desde sus inicios una tensión irresoluble, una disputa permanente entre dos tradiciones de pensamiento que tiran, cada una, en direcciones opuestas: la tradición naturalista y la antinaturalista. ¿Es el ser humano un ser natural o un ser no-natural? ¿Pertenece los humanos al mundo natural, como cualquier otro ser vivo, o pertenecemos a un mundo aparte siendo, por lo tanto, excepcionales? Es éste un punto crucial no sólo para la definición del objeto de estudio de las ciencias antropológicas, sino para nuestra comprensión general de quiénes somos, cuál es nuestro lugar en el mundo y cuál es el sentido de nuestra existencia. En un excelente libro al respecto, Jean-Marie Schaeffer señala atinadamente que la cuestión gira en torno a la aceptación o el rechazo de lo que él llama *la tesis de la excepción humana*, la idea de que el ser humano constituye una excepción entre los seres que habitan la Tierra, una singularidad sin paralelo en el mundo natural. Se trata de una larga discusión que ha sido fundamental en la historia del pensamiento moderno en la que han participado muchas de las más grandes figuras de las distintas ciencias, la filosofía y la religión.

Aunque durante un tiempo pareció que la ciencia moderna avanzaba hacia la construcción de un marco teórico unificado —una comprensión científica del mundo que abarcaba desde el mundo físico, pasando por el mundo biológico y

hasta el mundo humano o social—, muchos no estuvieron de acuerdo con dicha empresa, que finalmente terminó en un fracaso. Como recuerda Schaeffer:

Al comienzo de *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*, el gran trabajo (inconcluso) de los últimos años de su vida, Husserl critica la “reducción positivista” en el campo de lo que hoy llamamos las ciencias humanas y sociales. Por “reducción positivista” él entiende todo estudio de lo humano que, en vez de adoptar la senda del autoesclarecimiento fenomenológico que él mismo practica, se calca sobre el modelo del estudio de los entes no humanos. Este modelo es el de un abordaje externalista o incluso objetivista, como el que adopta el físico al estudiar la materia o la energía, el químico al analizar las uniones moleculares o incluso el biólogo al descifrar la vida vegetal o animal. Al referirse más particularmente a estas dos ciencias de lo humano que pretenden ser la psicología y la historia, Husserl sostiene que, a partir del momento en que recurren a este proceder objetivista, se condenan a tratar al hombre como una “cosa” y, al mismo tiempo, sólo pueden desconocer su singularidad. (Schaeffer 2009: 21)

La de Husserl es una de las posiciones más radicales en este debate. Junto con la filosofía hermenéutica, los neokantismos, el existencialismo y otras de las principales corrientes filosóficas del siglo XX, la fenomenología toma como axioma fundacional que la identidad humana no sólo es ajena a su naturaleza biológica sino también ajena a la vida social: “en su esencia propiamente humana, el hombre [*sic*] sería un ‘yo’, o un ‘sujeto’, radicalmente autónomo y fundador de su propio ser” (Schaeffer 2009: 14). Entre las ciencias sociales encontramos, principalmente, una versión distinta de la misma tesis, que sostiene que es en lo social donde el ser humano trasciende lo meramente natural; la vida biológica no sería sino un sustrato sobre el cual se construye la vida propiamente humana. Otras variantes afirman que es la cultura (la creación de sistemas simbólicos) lo que define propiamente la identidad humana. (Schaeffer 2009: 14)

Los distintos paradigmas teóricos al interior de las ciencias antropológicas podrían mapearse con base en su relación con estos programas naturalistas y antinaturalistas. De acuerdo con Philippe Descola (2002: 58-59), la antropología se vio tironeada desde su génesis entre dos polos opuestos, en una época en que la división entre las ciencias de la naturaleza y las ciencias de la cultura se había consolidado definitivamente y en la que, pese a los repetidos esfuerzos de grandes pensadores de la época, la brecha entre ambas se ensanchaba más y más. Según el mismo autor, la oposición naturaleza-cultura está en el centro del desarrollo de la antropología. Resulta central, por lo tanto, el problema —profundo, irresuelto— de las relaciones de continuidad o discontinuidad entre ambas, cuestión que está en la base del surgimiento de preguntas y programas de investigación incompatibles. La división de método y de objeto entre las ciencias de la naturaleza y las ciencias de la cultura ha significado el enfrentamiento entre dos perspectivas que se asumen como contrarias.

Si el ámbito de la Naturaleza y el de lo propiamente humano son independientes entre sí —si ahí donde está lo humano no aplican las leyes de la Naturaleza y viceversa— el problema de la relación entre ambos se torna irresoluble. La oposición entre los programas naturalistas en su búsqueda de universalidad en las explicaciones nomotéticas y los planteamientos relativistas de las interpretaciones sociohistóricas y culturales se torna, pues, irreconciliable. De ahí resulta que cada posición intente “resolver” la cuestión *reduciendo* un dominio al otro. Así, desde un naturalismo reduccionista se postula que la Naturaleza *determina* la Cultura: las condiciones ecológicas, los instintos, las redes neuronales o el código genético tienen primacía ontológica, constituyen el nivel fundamental de la realidad; lo cultural, lo simbólico, lo mental son consecuencias o hasta epifenómenos de los primeros. Por el contrario, desde un “culturalismo radical” (como lo denomina Descola), se sostiene que es la Cultura la que *da sentido* a la Naturaleza: no hay nada “simplemente natural” en el ser humano, “lo natural” se *construye* como tal dentro de un determinado sistema cultural o simbólico, por lo que son estos últimos los que debemos investigar.

Schaeffer y Descola coinciden en señalar que esta “guerra de las ciencias” pone en evidencia los defectos estructurales del edificio conceptual que se ha construido sobre los cimientos de la dicotomía oposicional Naturaleza-Cultura. Los caminos sin salida a los que se llega por ambas rutas —las del naturalismo materialista y el culturalismo radical— demuestran que dicha oposición no constituye un punto de partida adecuado. Y aunque han fracasado por igual en su intento de reducir un polo al otro, en ambos caminos se han encontrado *críticas válidas* contra la oposición Naturaleza-Cultura. Queda claro, por lo tanto, que es necesario que las ciencias de lo humano abandonen el esquema dualista-oposicional que les ha sido heredado.

Es común encontrar que naturaleza y cultura se plantean no sólo como dos ámbitos *separados* sino *opuestos*. Si “lo natural” es, por etimología, “aquello que ha *nacido*”, la idea de “lo cultural” surge para denominar “lo que ha sido *cultivado*” por el ser humano. Se contrasta, pues, aquello que simplemente está *dado* “de manera natural” con el carácter de *artificialidad* del dominio de lo cultural, que se entiende como no-natural, inclusive como *contra natura*. Así, de entrada encontramos que, para definir las nociones de «cultura» y «natura» mediante una relación de contraposición (cada una constituyendo la negación de la otra), el elemento clave es la *acción humana* entendida como fundamentalmente no-natural. La relación de exterioridad entre «naturaleza» y «cultura» sólo es comprensible si se sostiene que el ser humano está de alguna manera *fuera* de la Naturaleza, por lo que los productos de sus acciones también lo estarían.

Como se puede ver, la tensión entre ambos abordajes —el naturalista y el antinaturalista— está enraizada en una dicotomía que es fundacional no sólo para el pensamiento moderno sino para la cosmovisión occidental. Decir —como dice Husserl— que tratar al ser humano como ser natural implica reducirlo a una “cosa” desconociendo su singularidad como sujeto, sólo tiene sentido dentro de una visión del mundo en la que la Naturaleza es un “objeto” y en la que la calidad de “sujeto” se reserva exclusivamente para los seres humanos. Buscando hacia atrás, Schaeffer identifica raíces de la tesis de la excepción humana en la visión del mundo judeocristiana. En esta visión, Dios —El Creador— es exterior y

trascendente con respecto al mundo natural —la Creación—; la calidad de sujeto (activo, creativo, inteligente) se reserva para Dios, siendo la naturaleza un mero objeto (pasivo, exodeterminado, “ciego”) que sigue mecánicamente los designios divinos.

Según el cristianismo, en efecto, el hombre es el elegido de Dios. Esta elección lo define en su esencia, porque radica en el hecho de que, entre todos los seres, es el único que fue hecho a Su Imagen, vale decir, que fue creado sobre el patrón de la modalidad ontológica trascendente por excelencia que es el Espíritu Divino. [...] puesto que el hombre es a imagen de Dios y Dios es trascendente en el mundo de las criaturas, aquello por lo cual el hombre es imagen de Dios es también aquello por lo cual él trasciende el mundo de las criaturas (Schaeffer 2009: 23).

En esta tradición, una cualidad divina por excelencia es la Inteligencia Infinita, que es precisamente lo que explica la relación Creador-Criatura, pues es Dios en calidad de Diseñador Supremo y Todopoderoso que ejerce su dominio absoluto sobre la Creación (el mundo material). El ser humano, como Hijo de Dios, está dotado también de inteligencia y, por lo tanto, está llamado a imitar a su Padre. El Génesis es muy claro al respecto: en el sexto día, Dios dijo “Ahora hagamos al hombre. Se parecerá a nosotros, y *tendrá poder* sobre los peces, las aves, los animales domésticos y los salvajes, y sobre los que se arrastran por el suelo”. Después instruyó a los hombres: “Tengan muchos, muchos hijos; llenen el mundo y *gobiérnenlo; dominen* a los peces y a las aves, y a todos los animales que se arrastran” (Gn 1. 26-28).

Esta misma dicotomía —entre un mundo de sujetos espirituales y otro mundo de objetos materiales— se actualiza en el pensamiento cartesiano, en donde la tesis de la excepción humana toma la forma que dominará el pensamiento filosófico y científico de la modernidad occidental. En efecto, en los planteamientos de René Descartes se encuentran de manera ejemplar los cuatro elementos básicos que Schaeffer identifica como constitutivos de dicha tesis:

1. *Dualismo ontológico*. Existen dos “sustancias” fundamentales, la *res cogitans* y la *res extensa*, que corresponden a dos dominios ontológicos diferentes, la realidad “espiritual” y la realidad “material”, los cuales son independientes e incommensurables entre sí.
2. *Ruptura óptica*. En el orden de lo viviente existe una discontinuidad fundamental que separa al ser humano del resto de los seres vivos, puesto que sólo él participa de la realidad espiritual: si bien comparte con los animales la existencia en el plano material, la esencia humana —y la de ningún otro ser viviente— se ubica en el plano espiritual.
3. *Concepción gnoseocéntrica del ser humano*. Si se afirma que sólo el ser humano tiene una esencia espiritual (un alma razonable fundamentalmente incorpórea), es porque se toma al pensamiento (la conciencia, la razón) como la característica definitoria de su ser.
4. *Segregación epistémica*. El conocimiento de lo que es propiamente humano exige una vía de acceso y un tipo de conocimiento que se distinguen radicalmente de los medios cognitivos que nos permiten conocer a los otros seres vivientes y a la Naturaleza.

Muchas son las consecuencias de estos cuatro postulados. Un problema irresoluble de la ontología cartesiana —reconocido por el propio Descartes— es precisamente que si el espíritu y la materia son dos “sustancias” absolutamente independientes entre sí, ¿cómo se da, entonces, esa *unión* cuerpo-mente que supuestamente constituye al ser humano? La experiencia cotidiana nos muestra que dicha “unión” *existe*, pero la cuestión del “contacto” o la “interacción” entre dichos dominios (que por principio son absolutamente independientes) resulta irresoluble. El postulado de la “glándula pineal” como la “interfaz” entre ambos dominios no hace más que prorrogar el problema, puesto que al preguntarnos por el estatus ontológico de dicha interfaz el problema se reactiva y sigue siendo irresoluble. (Schaeffer 2009: 177)

La misma ruptura irreconciliable se proyecta entre humanos y el resto de los seres vivos, y entre el mundo mental o espiritual y el mundo físico o material. Y al

separar radicalmente los dominios de la *res extensa* y la *res cogitans* establece una ruptura epistémica entre la vía *externalista* del conocimiento (basada en los “datos sensibles” como una fuente “externa” a la conciencia) y la vía *internalista* (basada en la pura autoinspección de la conciencia, vía que en Descartes tiene una primacía absoluta). Esta ruptura fundamental entre el conocimiento de “lo natural” y el de “lo propiamente humano” prefigura lo que en la actualidad sobrevive como la separación entre las ciencias naturales (físicas, biológicas, etc.) y las ciencias de lo humano (sociales, de la cultura, etc.).

Mientras nos mantengamos dentro de este marco, será imposible integrar ambos mundos sin caer en planteamientos absurdos o inaceptables. No sorprende que, partiendo de estas bases, los esfuerzos por crear un marco integrador hayan fracasado rotundamente. Este marco fue concebido para justificar y respaldar un proyecto humano que necesitaba de dicha separación: con su carácter radicalmente antropocéntrico, configuran una renovada cosmología para el dominio y la explotación de la Naturaleza. El proyecto científico moderno tenía como uno de sus objetivos fundamentales conocer las leyes que rigen el mundo para, así, poder gobernarlo. Dicho objetivo se mantuvo intacto en el paso de la modernidad temprana —teísta— hacia la modernidad tardía —atea—.

Hoy en día se acepta que el ser humano es un animal, sí, pero —se afirma— uno que es *fundamentalmente distinto* “al resto” de los animales, está en una categoría aparte, pues el ser humano ha “salido” de la Naturaleza para entrar en un dominio propio: el de la Cultura. Y es un dominio propio porque la cultura se presenta como un fenómeno exclusivamente humano. En su valiosa revisión sobre *La noción de cultura en las ciencias sociales* (“edición actualizada”), Denys Cuche nos presenta un buen ejemplo de la actualidad de tal visión. Él explica:

El largo proceso de hominización [...] consistió, fundamentalmente, en pasar de una adaptación genética al medio ambiente natural, a una adaptación cultural. Durante esta evolución [...] se operó una formidable regresión de los instintos, “reemplazados” progresivamente por la cultura [...] mucho más funcional que la adaptación genética pues es más dúctil y se puede transmitir con mayor facilidad y rapidez. (Cuche 2002: 5)

Así, se caracteriza al ser humano con base en la narración de un verdadero prodigio: si bien la evidencia ha demostrado que su linaje proviene de una especie animal más, la hominización se entiende como la *liberación* de las cadenas de “lo instintivo”, de “lo genético”, de aquello que *determina* la conducta de los animales, que no son más que esclavos de la Naturaleza. Se afirma que el ser humano ha escapado del dominio de lo natural (el de las *leyes naturales*, de *lo inmutable*) gracias a que ha adquirido la extraordinaria capacidad de gobernarse a sí mismo —a partir de la razón y la conciencia— creando sus propias normas para fundar un mundo propio. Y no sólo ha llegado a ser libre y autónomo, sino que además, ha sido mediante la ciencia y la tecnología —formas de “cultura”— como ha adquirido ese cada vez mayor *dominio* sobre la Naturaleza. En suma, nuestra historia se narra como la de quien ha pasado de una condición de esclavo a ser amo y señor. La expansión del mundo humano imponiendo un creciente dominio sobre la Naturaleza es el corazón de la noción moderna de “progreso”.

Antropología biocéntrica

Si ya de por sí era necesario replantear los supuestos básicos que han impedido una comprensión científica cabal de la naturaleza humana, hoy en día, a la luz de la crisis global de las relaciones ecosociales, la búsqueda de un nuevo marco integrador se vuelve un asunto de vida o muerte. Como científicos, no debemos olvidar que la Ciencia debe estar comprometida con la Vida. En el ominoso contexto de crisis ecológica y social de la actualidad, es urgente un *cambio de rumbo para la humanidad*, un cambio de nuestra forma de habitar el planeta, por lo que no podría ser más apremiante la tarea de repensar las relaciones Naturaleza-Sociedad y la búsqueda de *nuevos paradigmas que orienten nuestro actuar*. Es necesario discutir en términos científicos otras formas de entender la naturaleza, a nosotros mismos y la historia que nos ha conducido a la presente crisis. Modificando los puntos de partida con los que contamos esta historia se modifican

también las conclusiones a las que es posible llegar. Dependiendo de la forma en que planteemos el problema será posible imaginar distintas soluciones.

Resulta evidente que si queremos continuar viviendo necesitamos reconciliarnos con la continuidad de la vida en el planeta. Para orientarnos urgentemente en este necesario cambio de rumbo, tenemos que definir cuál fue el punto en el que tomamos un camino errado. Lo que nos ha conducido al borde de la (auto)destrucción global ¿es el neoliberalismo?, ¿la industrialización?, ¿el capitalismo?, ¿la modernidad?, ¿la civilización?, ¿la agricultura?, ¿la revolución neolítica? ¿Es el *Homo sapiens* una especie egoísta y destructiva por naturaleza? ¿O será que —como parecen afirmar algunos teóricos en la actualidad— la Vida misma evoluciona *necesariamente* hacia una creciente complejidad, hacia un creciente consumo energético, hacia una creciente producción de entropía y, por lo tanto, avanza necesariamente hacia la catástrofe? Como argumentaré, la crisis ecosocial global es resultado del fallido proyecto de dominación de la naturaleza. El proyecto civilizatorio de la modernidad occidental (capitalista, científica e industrial) basado en la búsqueda de la dominación del Otro (humano y no-humano), ha conducido a una crisis generalizada de las relaciones (sociales y ecológicas) que dan sustento su propia existencia.

Dada su amplitud y enorme complejidad, intentar comprender dicho proceso es una tarea ciertamente difícil pero indispensable en el contexto de crisis actual. Para explicar el desarrollo de esta crisis, abordaré la cuestión desde dos perspectivas complementarias: una externalista y una internalista. Desde la perspectiva externalista, estudiaré la civilización en términos termodinámico-ecológico-políticos, para lo cual será necesario, previamente, articular un marco teórico unificado. Esta parte retoma la tradición de investigación “naturalista” en antropología, que va desde las corrientes evolucionistas hasta la antropología ecológica y los avances que se han realizado para articular dichos desarrollos con los postulados de la termodinámica. Sin pretender hacer un recuento completo de toda esta gama de abordajes, me concentraré en reunir y discutir los elementos relevantes para dar cuenta de mi objeto de estudio.

Desde la perspectiva internalista, estudiaré dicho “proyecto civilizatorio” como el proyecto de construcción de un cierto mundo humano, edificado con base en una cosmovisión particular —la cual incluye siempre una cierta visión de sí mismo, de los Otros, etc.—, así como a un conjunto de valores, aspiraciones e ideales. En este sentido, el presente trabajo representa una exploración de la modernidad occidental con una mirada antropológica, indagando sobre algunas de las premisas cosmológicas —los presupuestos básicos de una cierta visión del mundo— que han orientado su desarrollo histórico. En particular pondré atención en elementos que justifican el establecimiento relaciones de *dominio* hacia los Otros: tanto hacia otros humanos como hacia otros seres vivos y sobre la realidad física. Como expondré, el proyecto de construir un sistema ecosocial basado en relaciones de dominación, instrumentalización y explotación de los Otros se fundamenta en lo que podemos llamar “ideas de excepcionalidad”, por ejemplo: que el ser humano es una excepción entre los seres vivos —siendo de alguna forma “superior” a todos ellos—, que la “cultura occidental” es una excepción entre todos los pueblos de la Tierra, etcétera. Analizar estas ideas —que al ser dominantes suelen parecer naturales o autoevidentes— desde una perspectiva histórica amplia permite tomar cierta distancia de ellas, desnaturalizarlas y relativizarlas para, en última instancia, tomar una perspectiva crítica frente a ellas. Esto encaja más o menos en el perfil de lo que en las últimas décadas se ha discutido como “hacer antropología de la propia³ cultura”, poniendo en juego la capacidad autorreflexiva de la que hablaba Bourdieu. En algunos puntos, implica hacer antropología de los presupuestos culturales —la cosmovisión o cosmología— que subyacen a la ciencia moderna incluida la propia teoría antropológica.

³ Claro que México y América Latina “son Occidente” de la misma manera en que lo es Sudáfrica: como zonas aculturadas, integradas, periféricas, “conquistadas”; condición que en otro sentido las hace precisamente “no ser Occidente”. Siendo que la indagación antropológica surge como la mirada de la civilización sobre el mundo de los bárbaros —parte inherente del establecimiento de las relaciones colonialistas—, hacer “antropología de Occidente” desde la parcial exterioridad del llamado “Tercer Mundo” también implica en cierto sentido subvertir la relación entre ambos.

La metafísica dualista y la tesis de la excepción humana trazan los ejes básicos de la cosmovisión occidental, definen el escenario en el que tiene sentido la narrativa de progreso humano como dominación de la naturaleza. La crisis ecosocial global nos obliga a cuestionar este proyecto, esta narrativa y esta visión del mundo, y nos invita a considerar alternativas. Desde mi punto de vista, una modificación que parece fundamental en este contexto está precisamente ahí: un cambio de visión del mundo que permita *reintegrar al ser humano dentro de la Naturaleza y poner ésta última en el centro*, con lo que transitaríamos desde el dualismo hacia el monismo y desde el antropocentrismo hacia el biocentrismo. Es en el ámbito de la ética que se ha discutido desde la década de los 70's la idea de un "giro biocéntrico" asociado en sus orígenes con la "ecología profunda" que, a diferencia de la ecología antropocéntrica, no justifica la defensa y protección de la vida en términos únicamente de su utilidad para el ser humano sino como un fin en sí mismo. De manera análoga al "giro copernicano" que modificó nuestra visión del mundo desde la concepción geocéntrica hacia un modelo heliocéntrico, una antropología biocéntrica no se limitaría a considerar al ser humano dentro de su ambiente natural (lo cual puede hacerse dentro de un marco antropocéntrico) sino que coloca a la vida como eje fundamental de referencia, siendo la vida humana sólo una de sus expresiones particulares. La poderosa influencia del marco dualista sobre nuestra percepción del mundo puede hacernos, todavía, sentir que lo anterior implica un "rebajamiento" de la identidad humana, una "degradación" o "reducción" a lo meramente natural o hasta la "negación" de lo propiamente humano. Para contrarrestar esto, es necesario replantear desde el inicio nuestra concepción de lo que es la Naturaleza. Como argumentaré, entender la Naturaleza como *res extensa* ha implicado, efectivamente, rebajarla, degradarla, reducirla e incluso negar su verdadera naturaleza.

Como expondré en el Capítulo 1, los modelos actuales en física (teoría general de la relatividad, mecánica cuántica, termodinámica de no-equilibrio) dejan claro que el universo material no puede verse como un objeto mecánico, pasivo, determinado e inerte sino que, por el contrario, exhibe una creatividad intrínseca, una actividad permanente y una indeterminación fundamental. En el siglo XX

hemos tenido que aceptar que los modelos atomistas son sólo una forma de representar la realidad, en un nivel específico, pero que éste no constituye el nivel fundamental: la realidad física debería entenderse más bien como un todo interconectado y multinivel, en el que no es posible reducir un nivel a otro. En el mismo capítulo presentaré un esbozo de los modelos que representan al universo físico en el tiempo, desde el *big bang* hasta la posible “muerte térmica” del universo. La historia del universo —para cuya comprensión resulta fundamental la segunda ley de la termodinámica— es el gran relato dentro del cual se inserta la historia de la vida: comprender el vínculo entre ambos será fundamental para los propósitos de este trabajo. Como argumentaré, será de especial importancia revisar algunos de los principales modelos surgidos en termodinámica de sistemas alejados del equilibrio para elaborar, en los siguientes capítulos, una comprensión integral de la evolución de la vida y de la evolución humana.

De manera semejante, inicio el Capítulo 2 discutiendo la idea de que los seres vivos puedan entenderse como autómatas exodeterminados —*res extensa*—. Nuevas perspectivas en biología (particularmente la teoría de la autopoiesis) permiten comprender la autonomía fundamental de los seres vivos (contra la idea de que se comportan como mecanismos deterministas), su facultad cognoscitiva (que tradicionalmente se ha entendido como una propiedad exclusivamente humana) e incluso su calidad de agentes intencionales (también tradicionalmente considerado como algo exclusivamente humano). Como mostraré, esta “nueva biología” permite plantear una visión de continuidad entre el mundo físico de los sistemas disipadores de energía y el mundo humano. Comprender el aspecto energético de la biología será fundamental para discutir no sólo el funcionamiento de un organismo, sino la evolución de la vida y la articulación de sistemas ecológicos. Como mostraré, la segunda ley de la termodinámica permite entender la relación entre la evolución del mundo físico, la evolución biológica y la evolución humana, obligándonos a reconsiderar la idea convencional de “progreso”. Argumentaré que la historia de la vida no es la historia de competencia a muerte que nos han contado, en la que el “progreso” implica el establecimiento de la supremacía de los más complejos sobre los más simples; el

verdadero progreso evolutivo consiste en la articulación de ecosistemas diversos, complejos, altamente productivos y estabilizados en los niveles máximos de aprovechamiento de la energía disponible: una fascinante historia que va desde el origen de la vida hasta la articulación de la biosfera autorreguladora —el ecosistema global—.

Con los elementos anteriores será posible presentar, en el Capítulo 3, una visión distinta de la evolución humana —desde la evolución del *Homo sapiens* hasta la crisis ecosocial global—. Superando la comprensión gnoseocéntrica del ser humano (uno de los elementos cruciales de la tesis de la excepción humana) una concepción biocéntrica del *Homo sapiens* permite entender que la evolución de nuestra forma particular de cognición —que incluye formas colectivas de cognición como son la ciencia y la cultura— es una expresión de nuestra naturaleza como seres vivos (siguiendo la teoría de la autopoiesis), no proviene de una realidad inmaterial trascendente al mundo —*res cogitans*— por lo que de ninguna manera nos hace estar “fuera” de la Naturaleza. La divinizada “Razón” no es una cualidad todopoderosa que nos permita ser amos del universo: mejor entendida en términos de plasticidad cerebral-conductual, se trata de una cualidad que en ocasiones nos otorga importantes ventajas adaptativas y en ocasiones puede conducirnos a comportamientos asombrosamente (auto)destructivos. La perspectiva ecológica-evolutiva-termodinámica desarrollada en los capítulos precedentes permitirá discutir, en particular, el “progreso civilizatorio” desde nuevos ángulos. Una de las conclusiones principales de este trabajo será que, como sistema termodinámico-ecológico-político, las civilizaciones tienen una dinámica que les hace adictas al expansionismo, lo que invariablemente conduce a escenarios de colapso por rebasamiento de la biocapacidad. Esta dinámica se ha presentado muchas veces a escala local y regional, pero el desarrollo tecnológico y el acceso a nuevas fuentes de energía permitieron, por un tiempo, posponer el colapso mediante una estrategia de “huída hacia adelante”, acelerando más y más el ritmo de expansión. Así explico la dinámica básica que ha conducido a la crisis ecosocial global. La particularidad de los sistemas sociopolíticos humanos (como se desprende de la discusión sobre la cognición

humana) es que su sostenimiento y realización requiere de formas colectivas de cognición que se articulan sobre la base de una cosmovisión. Por lo tanto, como ya dije, además de la perspectiva externalista (en términos de sistemas, energía, etc.) es necesario un abordaje internalista que dé cuenta de las ideas, valores, ideales y proyectos que han guiado dicho proceso civilizatorio.

Con estos tres capítulos hago simultáneamente el esfuerzo de articular un marco teórico integrador (que establece una continuidad no reduccionista entre los mundos físico, biológico y humano) y el ejercicio de aplicar dicho marco para el estudio del desarrollo de la crisis ecosocial global (desde una doble perspectiva, internalista y externalista). Con ello se cierra un círculo argumentativo, pues la explicación de la crisis ecosocial conduce a una indagación (internalista) sobre la cosmología dualista que sustenta el fallido proyecto de dominación de la Naturaleza, lo cual a su vez conduce a la búsqueda de plantear un marco no dualista que permita una nueva comprensión de la evolución física, biológica y social, dentro de la cual se plantea la explicación (externalista) del desarrollo de la crisis ecosocial global. Por lo tanto, aunque se trata de una tesis de antropología, la discusión principal no se limita al capítulo 3: los capítulos 1 y 2 no son un mero preámbulo sino que contienen elementos cruciales e indispensables para alcanzar las conclusiones.

La diversidad de los temas implicados hace necesaria una visión panorámica y multidimensional, inevitablemente incompleta y preliminar. Sería imposible dominar cada una de las disciplinas involucradas, pero la urgencia de nuestros tiempos obliga a lanzar propuestas arriesgadas. El intento aquí no es poner puntos finales sino todo lo contrario: presentar tentativamente un marco de referencia amplio dentro del cual articular una serie de discusiones particulares, invitando a re-iniciar un amplio diálogo transdisciplinario con especialistas de cada disciplina científica. Sólo un esfuerzo colectivo podría abordar efectivamente una problemática tan omniabarcadora. Como científicos, tenemos la responsabilidad histórica de sumarnos al diálogo multicultural que, desde el respeto y la diversidad, aporte para construir creativamente nuevos caminos de esperanza para el futuro...

CAPÍTULO 1

Evolución del Universo

Chaos is what we've lost touch with.

This is why it is given a bad name.

It is feared by the dominant archetype of our world, which is Ego, which clenches because its existence is defined in terms of control.

Terence McKenna

1.1. ¿Qué es el Universo?

Comencemos por el principio. ¿Qué significa «Universo»? De acuerdo con Hans Küng (2007), es a partir del siglo XVIII que comienza a utilizarse este término. Derivado del latín *universum*, es la sustantivación del participio *uni-versus* que literalmente significa “vertido en uno”, “aglutinado en una unidad”, designando así al conjunto de todo lo que existe, la unidad formada por la totalidad de los entes/fenómenos. El Universo, el Cosmos, el Mundo (en un sentido amplio), la Realidad... son sólo algunas maneras con las que hemos tratado de referirnos al inmenso entorno en el que se desarrollan nuestras vidas, dentro del cual sucede todo aquello que alcanzamos a percibir con nuestros sentidos, que abarca todo lo que alcanzamos a concebir con nuestras mentes. Las preguntas que podemos hacernos en torno a esta idea —¿cómo ha surgido el Universo?, ¿cuáles son sus características y propiedades?, ¿cuál es su destino final?— son, sin embargo, mucho más antiguas que esta palabra... Son de alguna manera inherentes a

nuestra particular manera de vivir utilizando conceptos (lenguaje) para describir y dar sentido a nuestras experiencias sobre el mundo.

En la diversidad cultural humana, encontramos muy diferentes maneras de plantear tanto las preguntas como las respuestas, perspectivas que desde el punto de vista moderno (no-neutral) han sido categorizadas como mitológicas, teológicas, filosóficas o científicas, clasificación que evidentemente lleva implícito un juicio (no-neutral) sobre la validez de las mismas. Más adelante revisaré con más detenimiento el tipo de diálogo que puede darse entre cosmovisiones distintas, separándome de la actitud típicamente moderna que, *a priori*, descalifica como “irracional” cualquier visión del mundo que parta de unos presupuestos distintos a los suyos, cerrándose en un monólogo sordo que anula toda posibilidad de diálogo. Por lo pronto diré solamente que, para poder dialogar con una actitud más abierta y neutral, es importante entender que toda cosmovisión de alguna manera se basa en el conjunto de experiencias a las que cada grupo humano tiene acceso (interpretadas de acuerdo con las tradiciones culturales particulares de las que forme parte) pero que, dado que nuestra capacidad de experimentar el mundo *siempre* será limitada (el Universo es mucho más amplio de lo que podemos alcanzar a percibir con nuestros sentidos, incluso utilizando las más sofisticadas herramientas, como veremos en un momento), para responder a ciertas preguntas tenemos que aventurarnos necesariamente hacia proposiciones que no pueden ser demostradas ni refutadas a través de la experiencia.

Es un hecho que nunca habíamos tenido acceso a tantas experiencias como las que son posibles actualmente con los modernos telescopios, detectores de radiación y demás instrumentos que amplían enormemente nuestras limitadas capacidades perceptivas. Este nuevo conjunto de experiencias ha alimentado una amplia discusión sobre cómo interpretar los datos obtenidos —un diálogo que ha sido, de hecho, intercultural, pues la comunidad científica internacional incluye personas con cosmovisiones muy diversas— en el cual actualmente se ha llegado a importantes consensos sobre lo que podemos saber empíricamente de la evolución del Universo en el tiempo.

1.1.1. El *Big Bang*

Como se sabe, las pioneras observaciones de Edwin P. Hubble (1889-1953) sobre el efecto óptico de desplazamiento de las líneas espectrales de galaxias lejanas hacia el rojo (el “efecto Hubble”) permitió por vez primera confirmar empíricamente la idea de que el gigantesco conjunto de galaxias visibles no se limita a ocupar estáticamente el espacio sino que se expande exponencialmente en todas las direcciones a velocidades increíbles. Como relata Hans Küng (2007: 24), fue un teólogo de tradición judeocristiana —el astrofísico *abbé* Georges Lemaitre (1894-1966), discípulo y colaborador de Eddington y Einstein— quien, en 1927, desarrolló por primera vez un modelo teórico (basado en la teoría general de la relatividad) que describía un universo en expansión, postulando la original hipótesis de un “átomo primitivo” y una explosión inicial. El popular término *big-bang* fue acuñado originalmente a modo de burla para una descabellada teoría que en ese momento no contaba con evidencia empírica que la respaldara. Pero una vez teniendo la evidencia presentada por Hubble, la física moderna abandonó su cosmología estática y suscribió la idea de un universo en expansión. Los nuevos modelos dinámicos han sido ampliamente confirmados y refinados dando lugar a lo que hoy se conoce como “modelo estándar”, permitiendo actualmente reconstruir con asombrosa precisión la historia del universo físico ¡incluyendo acontecimientos ocurridos desde el primer segundo de su existencia!

No obstante, estos modelos tienen necesariamente un alcance limitado: nuestros modelos matemáticos y conceptuales topan con algunos límites inherentes al conocimiento. Si pudiéramos pensar que de alguna manera hubo algo “antes” de la explosión, en el momento en que toda la materia y energía se concentran en un solo punto, toda huella o indicio que pudiera servirnos para rastrearlo se borraría. Sin embargo, resulta problemático decir que esa diminuta bola incandescente existía en el tiempo o en el espacio *antes* de la explosión primigenia, puesto que el espacio y el tiempo comenzaron a existir cuando se produjo la explosión. No se trata de un mero comienzo temporal ni de un acontecimiento más ocurrido en el espacio, sino del inicio absoluto del tiempo y el

espacio para nuestro Universo. El tiempo avanza “hacia adelante” sólo en un Universo en expansión; si —como postulan algunos modelos teóricos— llegara un punto en el que el Universo comenzara a contraerse, el tiempo “fluiría hacia atrás”. Las constantes físicas que rigen nuestro Universo (las constantes atómicas básicas, las unidades cuánticas de Planck, la constante de Boltzmann, las constantes atómicas derivadas, magnitudes como la velocidad de la luz, etc.) son válidas a partir de las primeras centésimas de segundo después de la explosión, pero con respecto al “tiempo cero” ($T=0$) hacer cualquier afirmación se vuelve incierto: es lo que se conoce como “singularidad”, un evento que parece escapar de las generalidades. De igual manera, no es posible tener evidencia empírica que nos ilumine sobre las condiciones iniciales que hicieron posible la existencia de esa diminuta unidad primigenia de infinita densidad y temperatura ni la ocurrencia de esa colosal explosión cósmica. La pregunta no es sólo sobre cómo pudo concentrarse en un solo punto esa descomunal cantidad de materia/energía sino, en primer lugar, cómo se hizo posible la existencia de materia/energía. Se trata de la pregunta por la existencia de la realidad en cuanto tal: ¿por qué existe el Universo y no más bien la nada? Según Gottfried Wilhelm Leibniz, ésta es la pregunta fundamental de la filosofía, el “milagro de todos los milagros”, como diría Martin Heidegger (Küng 2007: 86). Renunciar simplemente a reflexionar sobre estas preguntas no nos libra mágicamente de tener creencias implícitas al respecto, tomar esta estrategia sólo deja en la sombra cuáles son nuestros verdaderos presupuestos filosóficos. Resulta más conveniente abordar abierta y (auto)críticamente la discusión sobre nuestros supuestos meta-físicos, con plena conciencia de que cualquier suposición que hagamos en este ámbito está por definición más allá de lo que podemos comprobar o refutar a través de la experiencia empírica. Por ahora sólo reconozcamos que, incluso para los más avanzados modelos basados en todos los datos empíricos y formalismos lógico-matemáticos que podamos reunir, en el principio de Todo permanece el Misterio originario de la existencia del Universo. De ninguna manera ha perdido el mundo su carácter enigmático.

1.1.2. El nacimiento de estrellas y planetas

Lo que sí pueden decir los actuales modelos teóricos es que —siguiendo el recuento que hace el mismo Küng (2007: 25 y ss.)—, en el inicio, toda la energía y toda la materia del Universo estaban comprimidas en una bola incandescente de mínimo volumen y máxima densidad, increíblemente pequeña y caliente. La gigantesca explosión cósmica con la que el Universo comenzó a existir se habría producido hace unos 13.7 mil millones de años. Con la expansión se inicia un proceso de gradual enfriamiento. Se ha determinado que, tras una centésima de segundo, el universo tenía una temperatura de unos cien mil millones (10^{11}) de grados centígrados, y tenía cuatro mil millones de veces (4×10^9) la densidad del agua. Durante los primeros segundos, a partir de fotones extremadamente ricos en energía, se habrían formado las primeras partículas elementales pesadas (protones, neutrones y sus antipartículas) así como otras partículas más ligeras (electrones y positrones). Después de un par de minutos, mediante la fusión de protones y neutrones, se habrían constituido los primeros núcleos de helio. Sería hasta después de algunos cientos de miles de años que, mediante la correspondiente captura de electrones, habrían aparecido los primeros átomos neutros de helio e hidrógeno. Unos veinte millones de años después —aunque existen dudas sobre cómo es que esto fue posible—, conforme la colosal masa de gas primigenio se enfriaba, la fuerza de gravedad comenzó a condensar la materia en grumos que poco a poco dieron origen a las galaxias: se calculan unos cien mil millones de ellas, cada una formada por más de diez mil millones de estrellas.

De acuerdo con Maturana y Varela (1984: 20), en este proceso de condensación de gas para formar estrellas se llega a un interesante punto de *equilibrio* entre la tendencia cohesionadora de la gravedad y la tendencia irradiadora de las reacciones termonucleares que se producen al interior de esta masa incandescente. Cuando estos dos procesos alcanzan dicho punto de equilibrio, la estrella inicia su “vida” individual, lo que técnicamente se conoce como su “secuencia principal”. Durante este periodo (que puede durar unos ocho mil millones de años), la materia condensada es gradualmente consumida en

reacciones termonucleares, luego de lo cual comienzan transformaciones más dramáticas. Entonces la estrella puede convertirse en un gigante rojo, en una estrella que pulsa y finalmente en una supernova, produciendo una potentísima explosión en la que se forman elementos más pesados como el carbono, oxígeno y nitrógeno. De esta manera, enormes cantidades de este nuevo tipo de materia son lanzadas al espacio interestelar, en donde nubes de gas siguen condensándose para formar nuevas estrellas. Así se hace posible la conjunción de elementos que dan lugar a sistemas solares como el nuestro. Nuestro Sol —ubicado en uno de los brazos exteriores de la Vía Láctea— se encuentra en un punto más o menos intermedio de su secuencia principal (se espera que siga irradiando por al menos tres mil millones de años más). La Tierra y los otros planetas que le acompañan están formados por materia que incluye abundantes átomos de elementos pesados, por lo que deben haber sido originalmente remanentes de la explosión de una supernova que fueron captados por el campo gravitatorio del Sol. De acuerdo con Schneider y Sagan (2008: 219-220), por efecto de la atracción gravitatoria, los elementos más densos y pesados se agruparon más hacia el centro del sistema formando a Mercurio, Venus, la Tierra, Marte y sus satélites; en cambio, los materiales más ligeros e hidrogenados dieron lugar a los masivos gigantes gaseosos que son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Como veremos, dichos elementos pesados —carbono, oxígeno, nitrógeno, hierro, etc.— hacen posible la existencia de seres vivos en nuestro planeta. No sólo la Tierra sino nosotros mismos estamos constituidos físicamente por estos elementos. Literalmente somos, como dijera Novalis, “polvo de estrellas”. Somos parte integrante del inmenso proceso de evolución de la materia y la energía en el Universo, proceso que se desarrolla de manera continua y sin rupturas, por lo que no podemos concebirnos como algo ajeno a él. A fin de cuentas, provenimos directamente de ese “átomo primordial” de donde surgieron todos los entes y fenómenos del Universo, idea que no deja de maravillarme profundamente. Se trata de una idea que ha obligado a modificar profundamente la visión, dominante en la historia del pensamiento occidental, según la cual como humanos estamos constituidos por algo fundamentalmente distinto y ajeno al resto del Universo...

idea que —como argumentaré— forma parte de las raíces culturales de la actual crisis eco-social global. De hecho, como veremos a continuación, la investigación científica moderna sobre el mundo físico ha llegado de múltiples maneras a rechazar frontalmente tanto la visión de que el Universo está formado fundamentalmente por unidades discretas separadas unas de otras como la idea de que, como observadores del mundo, podemos entendernos separados del mismo.

1.1.3. Atomismo y dualismo metafísico

Durante mucho tiempo, la visión del mundo dominante en Occidente ha estado basada en dos postulados fundamentales: el dualismo metafísico y el modelo atomista. Podemos encontrar elementos precursores de esta idea entre los filósofos naturales griegos, particularmente en la escuela de Elea, la cual —como relata Fritjof Capra (2002: 28)- concibió la existencia de un principio divino que prevalecía sobre todas las cosas, incluidos los humanos y los dioses, principio que dejó de identificarse con la unidad del universo y comenzó a visualizarse como un Dios-persona cuyo principal atributo era la inteligencia, quien dirige y gobierna al mundo. Esta visión fue prefigurando la metafísica dualista que no sólo planteaba una radical *separación* entre el mundo material y el mundo espiritual o mental, sino que los concebía a ambos como dominios esencialmente *opuestos*: el dominio mental-espiritual es el dominio donde existen *sujetos* dotados de agencia, y el dominio material está formado únicamente por *objetos* pasivos, fundamentalmente inertes.

Para defender la idea de un Ser inmutable —único e invariable, como lo describía Parménides— sobre la idea de un mundo en perpetuo cambio —el “eterno devenir”, como lo describía Heráclito—, se llegó a la idea de que el Ser se manifiesta en ciertas sustancias invariables e indestructibles cuya mezcla o separación da lugar a los cambios que observamos en el mundo. Así se fue formando la idea del “átomo”, la unidad de materia más pequeña, por definición

indivisible, que fue desarrollada en la filosofía de Leucipo y Demócrito. Ellos desarrollaron el postulado de que la realidad física —la materia— estaba formada por un vasto conjunto de “ladrillos básicos”: los átomos inmutables se agrupan y se dispersan, se combinan y recombinan dando lugar a toda la diversidad de fenómenos que percibimos con los sentidos. El devenir es apariencia: las entidades que observamos en el mundo, cuya existencia es temporal y pasajera, no son sino formaciones efímeras de átomos eternos. A fin de cuentas, toda la aparente diversidad de fenómenos puede reducirse a esta realidad básica, el nivel causal único, por lo que toda explicación debe mostrar las causas que van desde las partículas fundamentales hasta las entidades compuestas, nunca a la inversa (lo que algunos conocen como explicaciones de causalidad *bottom-up*).

Además, en su visión, estas partículas mínimas eran completamente pasivas e intrínsecamente muertas a pesar de moverse continuamente por el espacio vacío: su movimiento se entendía como resultado de la acción de fuerzas externas a ellas cuyo origen se encontraba en el plano espiritual. La filosofía judeocristiana medieval, que como veíamos fue el crisol cultural en el que se gestó el pensamiento moderno, retomó y adaptó el dualismo metafísico griego para entender la relación existente entre Dios y el mundo. Dios, entendido como creador trascendente, era el Sujeto por excelencia, aquel que muestra las cualidades de agencia e inteligencia en su grado más absoluto, y cuya existencia está, por definición, más allá del plano material, siendo totalmente independiente de éste. La naturaleza, el mundo físico, en cambio, operaba pasiva y mecánicamente obedeciendo de forma estricta las Leyes naturales dictadas por el divino legislador. En palabras de Tomás de Aquino, “existe una Ley Eterna, es decir, la Razón, que está en la mente de Dios y gobierna todo el Universo” (citado en Capra 2002: 363).

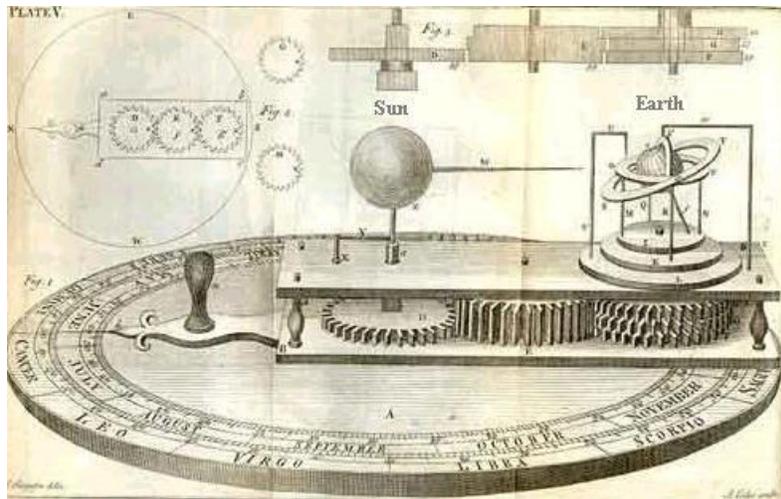
En el siglo XVII, René Descartes llevó adelante esta visión haciendo del dualismo el fundamento metafísico de la filosofía moderna. Sostuvo que el mundo está dividido radicalmente en dos dominios ontológicos separados, independientes uno del otro y opuestos entre sí: el mundo de la mente o espíritu —*res cogitans*, “la sustancia pensante”, fundamentalmente inmaterial— y el mundo de la materia

—*res extensa*, “la sustancia que ocupa espacio”, fundamentalmente inerte—. Descartes afirmaba que la mente puede existir sin la materia, que la conciencia no necesita un cuerpo físico, como en el caso de Dios; de igual manera, afirmaba que la materia puede existir sin conciencia, que el cuerpo puede existir sin mente, como en los animales y en el resto del universo físico (sólo en el caso del ser humano se daría la excepcional conjunción de un cuerpo físico y un alma racional, punto al que regresaremos en el capítulo 3). En el mundo natural no hay nada más que extensión y movimiento local, toda causación se reduce en el fondo a la transmisión mecánica del movimiento de unas partes a otras. El movimiento que se transmite fue puesto por Dios en el mundo desde el origen. Sólo para los entes espirituales es concebible la posibilidad de la libertad, la capacidad de determinarse a sí mismos mediante el ejercicio de la razón; para los entes materiales, la única posibilidad es un comportamiento mecánico y exodeterminado (determinado por causas externas). Dado que estos dos dominios ontológicos presentan características completamente distintas e inconmensurables, Descartes argumentó que el estudio de cada uno de ellos reclama un tipo de ciencia completamente diferente. A partir de entonces, el proyecto científico moderno se desarrolló siguiendo dicha línea divisoria: las ciencias que estudian el mundo físico por un lado y las que estudian la realidad espiritual por el otro. Esta división ontológica permitió a los científicos modernos estudiar a la materia como algo inerte, mecánico y esencialmente distinto de ellos mismos, lo cual constituyó un programa de investigación extraordinariamente exitoso para un amplio conjunto de fenómenos físicos y químicos, pero fracaso rotundamente al querer modelar de manera reduccionista, determinista y mecanicista otros fenómenos, especialmente los fenómenos biológicos y de la vida humana, lo que dificultó enormemente comprender las interrelaciones existentes entre ellos. Atrapados en este modelo escindido del mundo, los científicos tuvieron que optar entre estudiar al ser humano eliminando aquellas características que parecen propias de él (la agencia, la conciencia, la libertad, la creatividad) o renunciar integrarlo al marco general de los fenómenos naturales como si existiera en un mundo aparte.

1.1.4. El mundo-máquina

Considerado frecuentemente como el más grande científico de todos los tiempos, el trabajo de Isaac Newton terminó de consolidar la revolución conceptual que dio inicio a la ciencia moderna. En sus célebres *Philosophiae naturalis principia mathematica* plasmó genialmente la formulación matemática de la Ley de la Gravitación Universal, un formalismo que permitía describir de manera unificada el movimiento de los átomos microscópicos, la trayectoria de un proyectil macroscópico sobre la Tierra, y el curso de los planetas en sus órbitas en torno al Sol. La sencilla pero

poderosa formulación matemática de este modelo pareció revelar las leyes fundamentales con las que Dios había creado el Universo, cuyo funcionamiento de pronto resultaba transparente para los



ojos del científico. En la visión de Newton, en el principio, Dios habría creado las partículas materiales, las fuerzas existentes entre ellas y las leyes fundamentales del movimiento, luego de lo cual puso todo el Universo en movimiento, el cual ha continuado, a partir de ese momento, operando como una sofisticada “maquinaria de relojería” cumpliendo rigurosamente las Leyes dictadas por el Creador. Retomando el modelo atomista de Demócrito, Newton agregó la descripción precisa de la fuerza que rige el movimiento de las partículas en el espacio, la fuerza de gravedad, con un formalismo muy simple que sólo depende de sus masas y las distancias entre ellas. Aunque no fue posible explicar el modo en que un cuerpo ejerce *a distancia* una fuerza sobre otro, la fuerza de gravedad se consideró obra de Dios por lo que no parecía necesario indagar más sobre esa extraña hipótesis. En la mecánica newtoniana, todos los fenómenos físicos se

reducen al movimiento de cuerpos materiales en el espacio, movimiento impulsado por su mutua atracción gravitacional. La visión del mundo físico como un conjunto de objetos inertes que se mueven de manera completamente determinista se convirtió en el sólido fundamento de la visión científica moderna del mundo, cuyo desarrollo alcanzaría enormes éxitos en los siglos XVIII y XIX. El gran matemático Pierre Simon Laplace se dio a la tarea de perfeccionar los cálculos iniciados por Newton hasta lograr modelar los movimientos de los planetas, lunas y cometas con una precisión que incluía hasta los más pequeños detalles, aplicándolo también al flujo de las mareas y otros fenómenos relacionados con la gravedad. En la visión de Laplace:

La mente que en un momento dado conociera todas las fuerzas que actúan en la naturaleza y la posición de todas las cosas de las que se compone el mundo —suponiendo que fuese lo suficientemente amplia como para poder analizar todos estos datos— abrazaría en una misma fórmula a los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y a los de los átomos más pequeños. Nada sería incierto para ella, y el futuro, al igual que el pasado, estaría presente ante sus ojos. (Capra 2002: 79)

La mecánica newtoniana se utilizó también exitosamente para describir el movimiento de los fluidos, las vibraciones de los cuerpos elásticos, y hasta la teoría del calor pudo ser integrada cuando se propuso que el calor equivalía a la energía del movimiento de agitación de las moléculas, las cuales colisionaban unas con otras de acuerdo a los mismos principios de la mecánica. Durante casi tres siglos, la comprensión newtoniana del mundo físico como algo mecanicista y determinista —cuyos aparentemente complejos fenómenos siempre podían ser reducidos a las leyes básicas de interacción entre las partículas elementales— alimentó un optimismo científico que se irradiaba hacia el resto de la sociedad moderna: para el siglo XIX se creía que muy pronto no quedarían más misterios en el Universo, parecía que las principales leyes que gobiernan el mundo ya habían sido descubiertas con lo que el dominio humano sobre la naturaleza prometía ser una realidad ya inminente.

1.1.5. Teoría general de la relatividad

Como narra Capra (2002: 85 y ss.), en las tres primeras décadas del siglo XX el panorama cambió drásticamente. La propia investigación física condujo al desarrollo de nuevos modelos sobre la naturaleza fundamental del Universo —la teoría general de la relatividad y la física atómica— que vinieron a destruir sistemáticamente los hasta entonces aparentemente sólidos cimientos de la concepción newtoniana de la realidad: la noción de un espacio y un tiempo absolutos, la idea de partículas elementales sólidas y aislables de su entorno “vacío”, la creencia en la posibilidad de formular descripciones objetivas sobre el Universo —como si con el método científico pudiéramos abstraernos del mundo, de nuestra corporeidad particularidad, y tomáramos el punto de vista de Dios— y la idea de que los fenómenos físicos se desarrollan de una manera estrictamente causal y fundamentalmente determinista —lo que los haría, en principio, controlables—.

El revolucionario trabajo de Albert Einstein inauguró una comprensión de la realidad completamente nueva. En el marco de la teoría de la relatividad, el espacio tridimensional y el tiempo pasaron a formar una unidad cuatridimensional fundamentalmente inseparable que escapa de nuestras capacidades de visualización. Este *continuum* espaciotemporal, además, no puede ser descrito en términos absolutos: dependiendo de la velocidad a la que se muevan los observadores con respecto de los fenómenos observados, dos acontecimientos que para un observador ocurren simultáneamente, para otros ocurrirán en diferentes secuencias temporales. Por otro lado, según la teoría general de la relatividad⁴, donde quiera que haya un cuerpo sólido (por ejemplo una estrella o

⁴La teoría de la relatividad fue originalmente desarrollada para explicar fenómenos electromagnéticos y aplica especialmente para acontecimientos que impliquen velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Con la teoría general de la relatividad, Einstein amplió la primera teoría para incluir la gravedad. Mientras que la teoría especial de la relatividad ha sido confirmada por innumerables experimentos, la teoría general de la relatividad no ha podido ser confirmada de manera concluyente, sin embargo, es la teoría más aceptada, más congruente y más elegante para dar cuenta de los fenómenos gravitacionales, ampliamente

un planeta), el espacio-tiempo se “curvará” a su alrededor, con lo que la geometría del mismo depende de la presencia de los mismos. Dado que el tiempo no puede separarse del espacio, el tiempo también fluirá de un modo diferente en las distintas partes del Universo. Todas las medidas que utilizamos para describir el tiempo y el espacio no son más que elementos en el lenguaje que un observador puede utilizar para describir los fenómenos que observa desde su perspectiva particular: no es posible tratarlas como medidas objetivas de magnitudes absolutas. Esto significa que, por ejemplo, la velocidad del tiempo o la geometría del espacio que experimentamos ahora mismo, están siendo sostenidas en su forma presente no sólo por el campo gravitatorio de la Tierra, sino por el de la Luna, el del Sol, y el de objetos tan distantes como el centro de la galaxia. Como señala el astrónomo Fred Hoyle:

Los recientes descubrimientos ocurridos en cosmología nos están sugiriendo de un modo muy insistente que las condiciones cotidianas no podrían existir, sino fuera por las partes distantes del universo; que todas nuestras ideas sobre el espacio y la geometría dejarían totalmente de tener validez si las partes distantes del universo desaparecieran. Nuestra experiencia diaria, incluso hasta en los más mínimos detalles, parece estar tan estrechamente relacionada con las grandes formas del universo que es casi imposible contemplar a ambos como separados. (citado en Capra 2002: 270)

1.1.6. Mecánica cuántica

Por otro lado, también a principios del siglo XX se descubrieron varios aspectos de la estructura de los átomos que no pueden ser explicados en términos de la física clásica. En lugar de las partículas indivisibles, sólidas y duras que se había supuesto que eran desde los tiempos de la Antigüedad, los átomos comenzaron a

utilizada en astrofísica y cosmología para la descripción del universo en general. (Capra 2002: 87)

entenderse como compuestos de subpartículas (un núcleo formado de protones y neutrones, y un conjunto de electrones girando a su alrededor) de mucho menor tamaño moviéndose en un espacio mayormente vacío. Para darnos una idea de su aspecto, Capra recurre al siguiente ejercicio mental. Si ampliáramos una naranja hasta que ésta tuviera el tamaño del planeta Tierra, los billones de átomos que la conforman tendrían el tamaño de cerezas. A esta escala, sin embargo, el núcleo del átomo sería todavía invisible. Para poder observarlo, tendríamos que ampliar el átomo hasta alcanzar el tamaño de la cúpula más grande del mundo. “Un grano de sal flotando en medio de la cúpula de la catedral de San Pedro, y motas de polvo girando a su alrededor, dentro del mismo espacio de la cúpula, así es como podríamos representar al núcleo y los electrones de un átomo” (Capra 2002: 90). Si los “ladrillos básicos” de la materia están así de vacíos (incluyendo los que forman nuestros propios cuerpos) ¿por qué no podemos atravesar una puerta cerrada? La respuesta es que los electrones se mueven a velocidades asombrosas —¡a unos 700km por segundo!— lo que hace a los átomos parecer esferas sólidas del mismo modo que una hélice rotando a altas velocidades parece un disco (la vibrante y dinámica naturaleza básica del átomo se alejaba más y más de la visión de una materia física fundamentalmente inerte y pasiva).

Ya desde aquí la apariencia sólida de la materia tuvo que ser reinterpretada, pero las mayores sorpresas estaban aún por venir. Conforme los físicos se adentraron en el misterioso mundo subatómico, se vieron forzados a aceptar que las “partículas” que constituyen al átomo tampoco pueden describirse como los objetos sólidos modelados por la física clásica. Por imposible que parezca, éstas partículas tienen una naturaleza dual: dependiendo del tipo de interacción que establezcamos con ellas (para poder observarlas es necesario interactuar con ellas, por ejemplo, bombardeándolas con fotones para observar el resultado de la interacción), se manifestarán en forma de ondas o de partículas. A pesar de que nuestra idea de partícula (un cuerpo delimitado que ocupa un espacio compacto en el espacio) y onda (una vibración que se esparce por una zona difusa) son irreconciliables en el mundo de nuestra experiencia cotidiana, en el mundo de las partículas subatómicas son inseparables (una propiedad que también tiene la luz,

que puede expresarse como ondas electromagnéticas o como partículas: los fotones o “cuantos”, *quantum*, que dieron su nombre a la “mecánica cuántica”).

Los físicos de inicios del siglo XX se vieron obligados aceptar que todas esas respuestas “absurdas” que la naturaleza devolvía ante las preguntas que le realizaban en el laboratorio no se originaban en deficiencias de sus instrumentos o procedimientos de observación, sino que la realidad misma tenía propiedades intrínsecas que a nuestros ojos parecen contradictorias. Aunque han sido capaces de formular una descripción matemática formal de dichos fenómenos que ha sido capaz de superar muchas pruebas empíricas y que ahora es aceptada como una descripción congruente y precisa de los fenómenos atómicos, a la hora de querer interpretarlos en el lenguaje ordinario (en palabras y no en ecuaciones matemáticas) entramos en una serie de aporías y paradojas imposibles de resolver y sobre las que hay mucho menos acuerdo. Tenemos que decir cosas como que, en este nivel, la materia no “existe” en lugares puntuales que puedan ser completamente determinados sino que forma campos dentro de los cuales manifiesta “tendencias a existir” que sólo pueden expresarse en términos probabilísticos. La metáfora del átomo como un pequeño sistema planetario es en última instancia inadecuada: más que partículas que giran alrededor del núcleo debemos imaginar “ondas de probabilidad” ordenadas en diferentes “órbitas” delimitando las “tendencias a existir” de dichas “partículas”... una idea que ciertamente es mucho más difícil de visualizar.

De esta manera, con los modelos de campos cuánticos, la distinción fundamental entre partícula y vacío (básica para el modelo atomista griego-newtoniano) se disuelve. Buscando las partículas elementales de las que se compone el Universo nos hemos topado con el campo cuántico como entidad fundamental: un medio continuo que está presente en todas partes del espacio. Las partículas no son sino condensaciones locales del campo, concentraciones del flujo de energía. Como dijera Albert Einstein:

Podemos, por tanto, considerar a la materia como constituida por las regiones del espacio en las cuales el campo es extremadamente intenso... En este

nuevo tipo de física no hay lugar para campo y materia, pues el campo es la única realidad. (Citado en Capra 2002)

Desde la famosa ecuación de Einstein ($E=mc^2$) —que permitió la manipulación de la energía contenida en el interior de los átomos, siendo su manifestación más impactante la explosión de las bombas atómicas— sabemos que la materia es una forma “condensada” de energía, un patrón dinámico en vez de un objeto estático, no una “sustancia” sino una forma que puede tomar la energía bajo ciertas circunstancias. Cuando dos partículas de alta energía colisionan, generalmente parecen “romperse” en múltiples “pedazos”, sólo que estos pedazos no son más pequeños que las partículas originales, son nuevas partículas de la misma clase que fueron creadas a partir de la energía del movimiento de las partículas originales. La materia resulta ser algo completamente mutable: todas las partículas pueden transmutarse en otras partículas, pueden ser creadas a partir de energía y pueden desvanecerse en energía. El “vacío”, evidentemente, no está de ninguna manera vacío, contiene un número ilimitado de “partículas” que nacen y se desvanecen incesantemente. El “vacío físico” no es equivalente a la nada, pues contiene potencialmente todas las formas que llamamos partículas, las cuales no son entidades independientes sino manifestaciones transitorias del vacío fundamental (Capra 2002: 288). “Todo el Universo aparece como una telaraña dinámica de patrones de energía inseparables” (Capra 2002: 109). De diversas maneras, los modelos de la física subatómica revelan que la materia y los fenómenos básicos asociados a ella están todos interconectados, interrelacionados y son interdependientes, que no pueden entenderse como entidades aisladas, sino como partes integrantes del Todo (Capra 2002: 169). En palabras de David Bohm:

Llegamos a un nuevo concepto de inquebrantable totalidad, que niega la idea clásica del análisis del mundo en partes separadas e independientes... El concepto clásico usual de que las “partes elementales” independientes son la realidad fundamental del mundo y que los diversos sistemas sean meramente formas y ordenamientos particulares de esas partes ha sido invertido. En lugar

de ello, decimos más bien que la realidad fundamental es la inseparable interrelación cuántica de todo el universo y que las partes que parecen funcionar de un modo relativamente independiente son simplemente formas contingentes y particulares dentro de todo ese conjunto. (Citado en Capra 2002: 177)

1.1.7. Realidad y observador

Como ya veíamos más arriba, las formas particulares que tomen los fenómenos subatómicos (esas condensaciones temporales del “vacío” fundamental) dependen del tipo de interacciones que el observador establezca con ellos, dependen del tipo de situación experimental que se elija para observarlos.

A nivel atómico, los “objetos” solamente pueden ser comprendidos en términos de una interacción entre los procesos de preparación [de la situación experimental] y [los] de medición. El final de esta cadena de procesos será siempre la consciencia del observador humano. Las mediciones son interacciones que originan “sensaciones” en nuestra consciencia —por ejemplo, la sensación visual de un destello de luz, o de una mancha oscura sobre una placa fotográfica— y las leyes de la física atómica nos dicen con qué probabilidad un objeto atómico dará lugar a una determinada sensación si permitimos que interactúe sobre nosotros. Las “ciencias naturales”, dice Heisenberg, “no describen y explican la naturaleza simplemente, sino que forman parte de la interacción existente entre la naturaleza y nosotros mismos”... “lo que nosotros observamos no es la naturaleza misma, sino la naturaleza expuesta a nuestro método de interrogación”. El observador decide cómo va a establecer la medición y esta decisión determinará, hasta cierto punto, las propiedades del objeto observado. Si se modificaran las características del experimento, las propiedades del objeto observado cambiarían a su vez. (Capra 2002: 180)

No hay manera de que el científico se plante como un observador imparcial y objetivo, pues necesariamente se ve involucrado e inmerso en el mundo que observa influenciando las propiedades de los objetos observados. Como señala John Wheeler, se hace necesario sustituir la idea de “observador” por la de “partícipe” (cfr. Capra 2002: 182). Veamos el ejemplo típico de la observación de una partícula subatómica. Para conocer algo sobre ella, podemos elegir medir la posición de la partícula o su “momento” (una cantidad definida como la masa de la partícula multiplicada por su velocidad). Como señala el principio de Heisenberg, estas dos cantidades nunca podrán ser medidas simultáneamente con precisión. Podemos llevar a cabo un procedimiento que resulte en que la partícula se manifieste como si tuviera una posición exacta, pero bajo esta circunstancia, es imposible determinar su momento (y por lo tanto su velocidad). Podemos llevar a cabo otro procedimiento que resulte en la situación contraria: conocer el momento sin poder determinar la posición, o podemos optar por tener un burdo e impreciso conocimiento de ambas cantidades. Lo que hay que entender es que esta limitación no se debe a lo imperfecto de nuestros instrumentos o procedimientos de medición: es una propiedad inherente a la realidad atómica. Si forzamos la partícula para que se manifieste en una posición específica, la partícula *no tendrá* un momento definible, y si optamos por medir el momento, la “partícula” *no existirá* en una posición determinable. Frente a este tipo de situaciones, los físicos contemporáneos bromean diciendo que “quien afirme haber comprendido la naturaleza de los fenómenos cuánticos es porque no ha entendido nada”. En este tipo de situaciones, cuando se dice que las partículas subatómicas muestran “tendencias a existir” de acuerdo con ciertas “ondas de probabilidad”, no se trata de que la partícula exista en un punto desconocido para nosotros y que por falta de datos suficientes tengamos que contentarnos con una estimación probabilística para inferir dónde puede estar. Todas las leyes de la física atómica se expresan en términos de estas probabilidades porque en el mundo subatómico las manifestaciones medibles de los sucesos no obedecen a relaciones de causa y efecto lineal y no pueden predecirse con certeza, sólo puede conocerse la probabilidad de su ocurrencia. La tranquilidad que obteníamos del antiguo axioma

sobre “la simplicidad de lo microscópico” parece ahora un espejismo. Mostrando un carácter fundamentalmente impredecible y no-determinista, la realidad física —que hace poco creímos estar a punto de controlar definitivamente— pareció escaparse nuevamente de nuestras manos...

1.2. ¿Hacia dónde va el Universo?

1.2.1. Tiempo y termodinámica

El cuadro pintado a partir de estos nuevos modelos —con la teoría de la relatividad a nivel del *macrocosmos* y con la teoría cuántica a nivel del *microcosmos*— se completa con los modelos de la termodinámica de no-equilibrio, modelos que resultan de especial interés para los propósitos de este trabajo porque describen sistemas en nuestro propio nivel: el *mesocosmos*, nuestro dominio natural de experiencias, un mundo que —ubicado entre las desconcertantes realidades de lo micro y lo macro— nos resulta más familiar. Resulta necesario, pues, revisar estos nuevos desarrollos deteniéndonos a considerar algunos detalles técnicos que serán fundamentales para las discusiones abordadas en los capítulos siguientes.

La termodinámica (*thermos*, calor; *dynamos*, fuerza, potencia) es la rama de la física que estudia los flujos y transformaciones de la energía (definida como la capacidad de realizar trabajo, una de cuyas formas es el calor). Ciencia prometeica, la termodinámica clásica era una disciplina eminentemente práctica cuyo tema era la energía, cómo entenderla y cómo extraerla, llevando la antigua búsqueda humana de controlar el fuego al minucioso análisis para incrementar la eficiencia de los motores de la Revolución Industrial, un aspecto decisivo en la —ahora motorizada— carrera interimperialista moderna. En sus inicios constituía poco más que un compendio de constancias y equivalencias que solamente entusiasmaban a ingenieros apasionados con los motores, pero pronto expandió sus alcances para incluir visiones generales sobre la evolución del Universo y,

actualmente, resulta básica para construir una visión integradora de la evolución de sistemas físicos, biológicos y humanos —incluyendo, como veremos, importantes discusiones para entender el desarrollo de la crisis eco-social global—.

Para distintas culturas, el calor y la energía han sido temas de reflexión desde la Antigüedad, siendo frecuente su asociación conceptual con la vida por oposición a la muerte. La comprensión científico-moderna sobre el tema dio particular énfasis a la observación sistemática con mediciones cuantitativas, siendo la construcción de los primeros “termoscopios” —inventados por Galileo Galilei— un hito fundacional. El moderno termómetro de mercurio, desarrollado por Guillaume de Amontons, permitió posteriormente una medición con la suficiente precisión y estabilidad para que Daniel Gabriel Fahrenheit y Anders Celsius establecieran las conocidas escalas de temperatura. La forma en que el calor fluye hacia un cuerpo frío sugería de manera aparentemente obvia que el calor es un misterioso fluido invisible, una sustancia. Tal era la teoría de Joseph Black, quien, en la segunda mitad del siglo XVIII, subrayaba en este sentido la manera en que algunos cuerpos se “hinchaban” al llenarse de “calórico”. Black propuso que podría definirse una unidad de calor como la cantidad (de esa misteriosa sustancia) necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit. Insatisfechos con la idea de la sustancia invisible, científicos como el norteamericano Benjamin Thompson o el bávaro Robert Julius Meyer buscaron contrastarla empíricamente, sugiriendo que el calor podía relacionarse más bien con el movimiento. Estos experimentos inspiraron al inglés James Prescott Joule quien, en condiciones de laboratorio más rigurosas, obtuvo mediciones más precisas sobre la conversión de trabajo en calor. Mediante un peso en caída libre casi sin fricción impulsó unas palas en el interior de un tanque de agua. “El trabajo realizado por el peso de una libra a través de 772 pies (231.6 m) en Manchester, si se invierte en producir calor por fricción, eleva la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit”. Con este resultado, pudo establecer la equivalencia entre la unidad de medición del trabajo con la unidad de medida del calor ganado por el agua. Estas mediciones mostraron que la energía cambia de forma sin desaparecer, y respaldaron de

cierta manera las ideas de Robert Julius Meyer, quien creía que las energías química, eléctrica, térmica y demás procedían de una única fuente común (una superfuente universal que, en consonancia con sus creencias evangélicas, llamó *Ursprach*). Él sostenía que la energía podía cambiar de forma, razón por la cual la luz y el calor producidos por el Sol podían convertirse —a través de las plantas— en energía química que a su vez sirviera de alimento para que los animales pudieran moverse, respirar y sentir. Joule llevó a cabo otros experimentos —midiendo el calentamiento en conductores eléctricos— que terminaron de confirmar lo que después se conocería como la primera ley de la termodinámica: la energía no se pierde, se transforma.

A principios del siglo XIX, estos trabajos resultaron de gran importancia en la búsqueda de mejorar la eficiencia de las máquinas de vapor.

El físico francés Nicolas-Léonard Sadi Carnot, hijo de un ministro de Guerra en el gobierno de Napoleón, comenzó a investigar los motores de vapor tras atribuir la reciente derrota de Francia a su uso por parte del enemigo, en el transporte de carbón, acero y armas. Si el secreto de la fuerza militar inglesa podía reducirse a la tecnología del vapor, entonces una mejor comprensión de ésta podía reforzar a Francia. Carnot observó que el calor siempre fluía de lo caliente a lo frío y nunca en sentido contrario, y que este flujo de calor (...) podía generar potencia. (...) con estas observaciones (...) Carnot fundó la ciencia de la termodinámica (Schneider y Sagan 2008: 68).

En sus *Reflexiones sobre la fuerza motriz del calor*, Carnot afirmaba que “la producción de calor no basta para generar la potencia impulsora”, “es necesario que haya frío, sin él, el calor sería inútil”. La temperatura de la caldera de vapor no era la única responsable de que los pistones se movieran con fuerza y velocidad, hacía falta una diferencia de temperatura entre caldera y radiador para que el calor fluyera y pudiera generar trabajo. Esta diferencia es lo que actualmente conocemos como “gradiente”. Además, comparando el desempeño de los motores reales contra un motor ideal libre de fricción, Carnot estableció que es imposible

convertir enteramente el calor en trabajo: en todos los casos se pierde algo en la transformación (Schneider y Sagan 2008: 69).

El físico prusiano Rudolf Julius Emanuel Clausius fue quien —entre 1840 y 1865— formalizó estas ideas planteándolas ya como la primera y segunda leyes de la termodinámica. Continuando con el trabajo de Joule, Clausius avanzó en la matematización del principio de conservación de la energía (primera ley), afirmando que el calor no era más que una de muchas formas de energía⁵. Pero aunque la energía se conservaba, era imposible recuperarla completamente para el trabajo (segunda ley). Por ejemplo, si mediante una bomba de agua impulsada por un motor eléctrico subimos una cierta cantidad de agua a una montaña, es imposible recuperar completamente dicha energía: esa misma cantidad de agua, bajando por la misma montaña, puede activar un generador eléctrico mediante un molino, pero siempre producirá una cantidad *menor* de energía eléctrica que la que se invirtió en subirla. A causa de fricciones e ineficiencias, parte de la energía de un motor (como de todo sistema) se disipa en forma de calor que no es posible aprovechar para realizar trabajo. A esta inevitable transformación de energía utilizable en energía inutilizable, Clausius se refirió como la “producción de entropía”. Dijo: “he construido deliberadamente la palabra «entropía» (tomando como raíz etimológica el concepto griego de “transformación”) para que se asemeje todo lo posible a «energía», ya que ambas magnitudes están tan estrechamente relacionadas”. Pero había algo extraño en esta nueva magnitud: a diferencia de la energía cuya cantidad siempre se conserva idéntica, la entropía siempre aumenta con el paso del tiempo. Decir que la entropía⁶ de un sistema siempre aumenta es decir que la energía, aunque se conserva en idéntica cantidad, siempre se degrada hacia formas que no pueden utilizarse para realizar

⁵ Actualmente se reconocen varias clases de energía: cinética, potencial gravitatoria, magnética, eléctrica, química y energía de los enlaces nucleares. Cada una de estas clases tiene su definición precisa en términos matemáticos, las cuales describen constancias entre fenómenos observables-cuantificables. El punto central de la matematización de la primera ley es la conversión de una clase en otra.

⁶ En términos formales, la entropía es la razón del calor (que mide la *cantidad* de energía) entre la temperatura (que mide la *calidad* de la energía).

trabajo⁷. Más adelante, el norteamericano Josiah Willard Gibbs introduciría el término exergía para designar la energía utilizable. Esta magnitud mide la calidad de la energía, mide la máxima capacidad de un sistema energético para realizar trabajo útil a medida que se acerca al estado de equilibrio. Cuando la energía realiza trabajo, su exergía —su calidad— disminuye (Schneider y Sagan 2008: 62) Estas dos tendencias son descritas por la segunda ley de la termodinámica, que establece una direccionalidad unívoca para todos los procesos físicos en el tiempo: la dirección de una entropía siempre creciente y una exergía siempre decreciente.

Generalizando esta situación, surgió una nueva concepción del tiempo como tendencia hacia el “equilibrio termodinámico”, el estado final que alcanza un sistema cuando toda la energía capaz de realizar trabajo se ha disipado en forma de entropía; la energía sigue ahí pero ya no es capaz de generar cambios en el sistema. Para entender mejor esto podemos utilizar como metáfora el dinero: si reunimos mil pesos podemos pagar para realizar cierto trabajo, pero si esos mismos mil pesos se dispersan en monedas de diez centavos, aunque la cantidad total de dinero existente sea la misma, su potencial de “realizar trabajo” se ha perdido... A finales del siglo XIX, Ludwig Boltzmann desarrolló una teoría para modelar lo que significa la entropía a nivel atómico, entendiéndola como un progreso desde estados improbables de “orden” hacia estados más probables de “desorden molecular” o “caos”. (Pese a su importancia en el desarrollo de la termodinámica moderna, dado que en este trabajo nos concentraremos en fenómenos macroscópicos, podemos dejar para el Anexo A el esfuerzo de comprender los modelos estadísticos boltzmannianos).

Esta nueva visión del tiempo como un devenir unidireccional e irreversible no fue fácil de aceptar. Se introducía en el mundo una asimetría fundamental entre el pasado y el futuro que contradecía los modelos clásicos. Para la dinámica clásica, cuyo logro por excelencia fue modelar el movimiento de los planetas, el tiempo era

⁷ Esto es relativo pues, en general, el calor producido por un proceso irreversible sí puede realizar trabajo, pero no en el sistema que lo ha generado. (Schneider y Sagan 2008: 75-76)

simétrico: basta con invertir el signo de la variable t para obtener, como en un proyector cinematográfico, una imagen esencialmente idéntica de los planetas girando en la dirección contraria. Se trata de una visión del tiempo un poco paradójica en la que, a pesar del cambio de posiciones en el espacio, en realidad nunca sucede nada nuevo, ningún cambio cualitativo o innovación sustantiva: el Universo se veía como una enorme máquina funcionando sin alteraciones por los siglos de los siglos. “El movimiento de los planetas es conservador y no introduce innovaciones. El movimiento pendular no aporta novedades; en el vacío, las piedras que caen no manifiestan creatividad” (Prigogine 2009: 84). Como veremos, la reversibilidad del tiempo se asocia con el carácter estrictamente determinista del universo newtoniano: por eso es que decía Laplace que, a partir del conocimiento perfecto del momento presente (la posición exacta de los objetos en el universo) y de las leyes del movimiento, una mente infinita podría deducir con toda precisión cualquier momento en el pasado o el futuro, pues ambos resultarían de esas mismas ecuaciones (invirtiendo solamente el signo). En esta visión del mundo, se hacía concebible la idea del dominio del hombre sobre la naturaleza —gobernándola a partir del conocimiento de las Leyes impuestas por el Creador—, una promesa que no es gratuita: nos obliga a decidir entre entendernos a nosotros mismos también como mecánicos y determinados —negando aquellas características que más apreciamos de nosotros mismos: la creatividad, la libertad, la responsabilidad— o concebirnos como algo radicalmente distinto al resto del Universo, visión que no necesariamente se acepta como una feliz superioridad metafísica sino también como un trágico destierro del mundo. Como decía Jacques Monod:

es preciso que el hombre despierte de su sueño milenario y descubra su absoluta soledad, su extrañeza total. Ahora sabe que, cual cingaro, se halla al margen del universo en que tiene que vivir. Universo sordo a su música, indiferente a sus anhelos, a sus sufrimientos y a sus crímenes. (Monod 1970: 186)

Y en efecto, en un universo sin creatividad inherente, limitado a seguir mecánicamente leyes deterministas según las cuales todo fenómeno aparentemente nuevo es reducible a una identidad más fundamental, sin posibilidad de genuina innovación, la evolución biológica y cultural o bien quedan fuera del cuadro explicativo, o bien deben ser reducidas para que su aspecto innovador pueda entenderse como mera apariencia sobre un trasfondo estrictamente mecánico. A fin de cuentas, uno de los objetivos básicos de la ciencia —y uno de sus mayores logros— era precisamente ese: encontrar, más allá de la aparente diversidad de los fenómenos, aquellas leyes matemáticas que logran capturar la naturaleza fundamental, invariable, de la realidad. La propia actividad *creativa* del científico moderno parecía ir en contra de esta visión anti-evolutiva del mundo en la que todo acontecimiento presente está causalmente determinado por el pasado, sin alternativa posible. ¿Debemos suponer que toda la innovación y contingencia en la historia natural y cultural estaba en realidad pre-escrita ya desde los primeros momentos del universo?

1.2.2. Termodinámica de no-equilibrio

Como señala Ilya Prigine (2009: 86), en el siglo XIX la termodinámica clásica “se atrincheró” en el estudio del estado de equilibrio termodinámico, precisamente aquel estado en el que podían eludir el incómodo problema del tiempo. Paradójicamente, para estudiar el flujo de energía los científicos tuvieron que comenzar aislando sistemas individuales, separándolos de todo flujo de materia y energía proveniente del exterior. La entropía como magnitud cuantificable sólo puede medirse en este tipo de sistemas artificialmente aislados, condición necesaria para observar esa situación límite en la que toda la energía de un sistema se ha disipado, instalándose en un estado en el que ya nada nuevo puede suceder.

Es comprensible la fascinación que ejerció el estado de equilibrio sobre el científico [decimonónico]. El estado de equilibrio establecía, en realidad, una

aparente continuidad entre dinámica y termodinámica [...] [ambas] niegan cualquier “creatividad” del sistema; el estado de equilibrio está también estrechamente determinado por sus condiciones en los límites, tan estrechamente sometido al control de quien pueda manipular estos parámetros, como el sistema dinámico por sus condiciones iniciales y sus leyes de desarrollo. En ambos casos, el científico es el Dios de su objeto, y conocer es controlar... (Prigogine 2009: 86.)

Tomando esta situación como modelo del mundo, los científicos del siglo XIX extrapolaron esta idea para anunciar en tono profético que el Universo entero avanzaba inexorablemente en el tiempo hacia la “muerte térmica”: el momento en el que toda la energía se habría disipado quedando todo en la inmovilidad, para siempre (regresaremos a este punto más adelante). Con esta misma grandilocuencia fatalista, la asociación boltzmanniana entre caos y entropía se ha tomado como base para interpretar la segunda ley diciendo que el Universo entero avanza irremediabilmente hacia el caos total. En el Anexo A distinguiré las maneras correctas de vincular entropía y caos —a nivel molecular— de estas extrapolaciones vagas y sensacionalistas.

Recurrir metodológicamente al aislamiento experimental ayudó a la termodinámica a dar sus primeros pasos, pero se convirtió después en un obstáculo para dar los siguientes: la mayoría de los fenómenos que observamos no encajan en los modelos de máxima entropía, muerte térmica y caos molecular. Como señala Prigogine (2009: 88), la verdad es que la evolución de un sistema hacia el equilibrio es una evolución bastante atípica en nuestro mundo: es posible únicamente en un planeta como el nuestro, a la vez lo bastante alejado del sol para hacer concebible el aislamiento de un sistema (no hay recipiente posible a temperatura solar) y lo bastante próximo para que haya sucesos irreversibles. Se observan pocos “muertos térmicos”, salvo en los sistemas locales que somos capaces de aislar artificialmente. Lo que parece ser la regla es lo contrario: sistemas abiertos marcados por intercambiar continuamente materia y energía unos con otros y con su entorno. Nietzsche había concluido con razón que, mientras que la termodinámica no pudiera describir la evolución de un sistema

hacia destinos diferentes de ese equilibrio en el que las diferencias se anulan y los procesos se detienen, sería incapaz de explicar el universo que conocemos. En particular, al observar la evolución natural y cultural (la teoría de la evolución de las especies fue presentada también durante el siglo XIX) encontramos por doquier una diversidad de procesos evolutivos que no parecen avanzar hacia la desorganización, la degradación, la indiferenciación y la inmovilidad, sino todo lo contrario. La propia palabra «evolución», a diferencia del mero “movimiento” (como el de los planetas), implica la ocurrencia de cambio cualitativo y no sólo cuantitativo. ¿Debemos aceptar que la vida y la cultura evolucionan de alguna manera violando la inmovilidad de las leyes físicas o escapando de su jurisdicción?

Los estudiosos de la termodinámica clásica reconocían tanto el poder como las limitaciones de su ciencia. Sabían que vivían en un mundo que se apartaba bastante de los sistemas, altamente idealizados, en que reinaba la máxima entropía y el desorden. En ninguna parte este aparente conflicto se mostraba tan patente como cuando se comparaba la evolución de la vida con la predicción de que los procesos aleatorios conducirían a la muerte térmica del universo. (Schneider y Sagan 2008: 32)

Hacia falta una teoría de la evolución física como un proceso creativo, abierto, innovador, generador de cambio cualitativo. Resultaba lógico pensar que la termodinámica podría aportar algo en este sentido, siendo que contemplaba un avance irreversible y asimétrico en el tiempo (marcado por la segunda ley), sin embargo, los modelos de la termodinámica clásica decían muy poco sobre esto. Theopile de Donder se aventuró a estudiar la irreversibilidad termodinámica, pero sólo comprendía sistemas en camino hacia el equilibrio. Esta evolución es sin duda irreversible, pero en sus modelos el único devenir posible es la evolución hacia el desgaste, la desorganización molecular y el olvido progresivo de las condiciones iniciales. En 1931, Lars Onsager describió formalmente un dominio en el que puede observarse cierta aparición de estructura. En procesos como la difusión del calor (termodifusión) las moléculas de gas se segregan: las moléculas

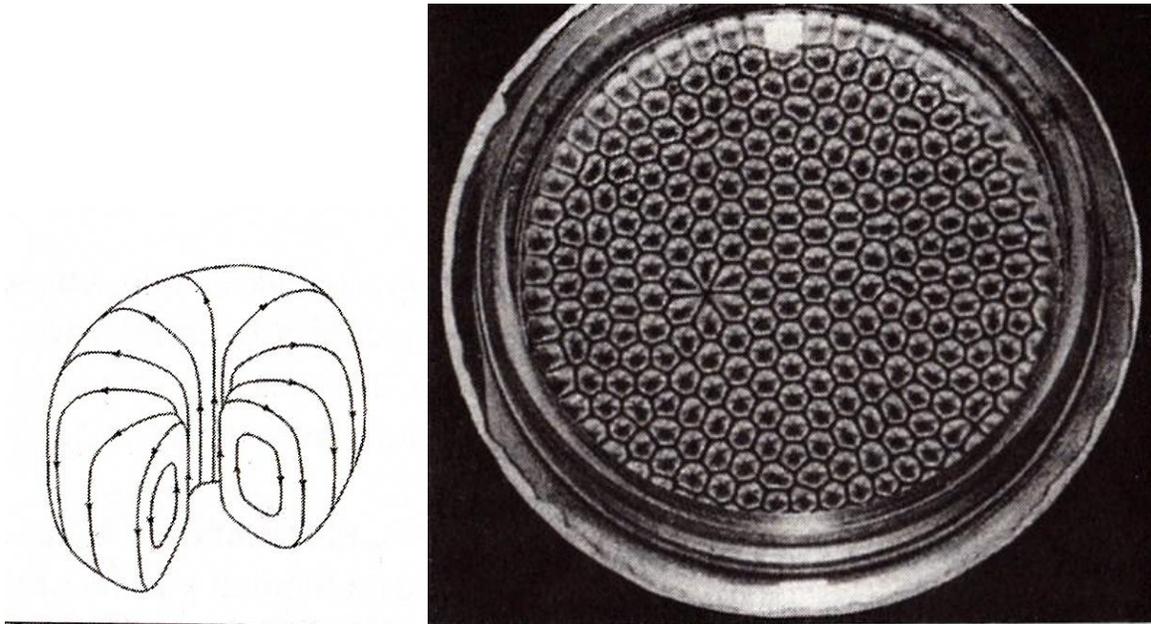
de velocidad rápida se acumulan en el extremo caliente y las lentas en el frío; la aplicación de un gradiente establecía una distribución simple pero estructurada de las moléculas, a diferencia de la pura aleatoriedad prevista por la termodinámica clásica. Onsager también describió la manera particular en que los flujos y las fuerzas se “acoplan” en este dominio, a lo que llamó “relaciones de reciprocidad”. A cierta distancia del equilibrio es posible encontrar la metaestabilidad: un sistema abierto con gradientes moderados se instalará en un estado estacionario de mínima producción de entropía, y continuará existiendo como tal sólo mientras exista el gradiente o flujo energético que lo sostiene. Mientras las condiciones de contorno impiden que el sistema llegue al equilibrio (por la aplicación de un gradiente continuo), el sistema se acomoda temporalmente en un estado de mínima producción de entropía (lo más cercano al equilibrio que puede) en el que responde de una manera lineal y predecible a los cambios que se producen en sus condiciones físicas.

1.2.3. Orden a partir del caos

En 1977, el físico-químico belga de origen ruso Ilya Prigogine recibiría el Premio Nobel de Química por su trabajo, pionero de una verdadera “termodinámica de sistemas alejados del equilibrio”. De acuerdo con sus observaciones, para ciertos sistemas abiertos (que intercambian materia y energía con el exterior), es posible definir un umbral de inestabilidad: incrementando gradualmente el flujo energético que atraviesa el sistema, este se aproxima a un punto crítico en el que se producen transiciones súbitas, fundamentalmente impredecibles, hacia uno de varios nuevos estados posibles. Es posible modelar los diferentes estados posibles a los que dicho sistema puede evolucionar en un umbral específico, pero dada la naturaleza intrínsecamente no-determinista (estocástica) de las fluctuaciones que se producen en ese momento de inestabilidad, resulta fundamentalmente imposible predecir con exactitud en cuál de esos estados posibles se instalará el sistema en una instancia particular de observación.

En este tipo de procesos puede formarse, de manera espontánea, un “sistema” entendido como un complejo irreductible de elementos interactuantes, elementos que dejan de comportarse de manera aislada o desorganizada y comienzan a operar de manera coordinada como partes de un todo. El tipo de relaciones que surgen en estos sistemas suelen incluir mecanismos de coordinación y regulación, bucles de retroalimentación (*feedbacks* positivos o negativos) que les otorgan su peculiar carácter no-lineal: una vez atravesado el umbral de inestabilidad aparecen correlaciones que hacen que el sistema se comporte de manera estable nuevamente (es un estado de estabilidad relativa, técnicamente descrito como “metaestable”). El sistema se comporta como una unidad holística cuya actividad no puede reducirse a la de sus componentes individuales —el todo es más que la suma de las partes—, por lo que dicha transición implica un cambio cualitativo irreductible⁸. La descripción formal de estos procesos nos permite entender el modo en que, de manera espontánea, surge “orden a partir del caos” (dado que las fluctuaciones se caracterizan por una dinámica estocástica, aleatoria, caótica). Esto es lo que técnicamente se conoce como “autoorganización”: un proceso en el que puede observarse la creatividad intrínseca del mundo físico. Esta creatividad se observa en sistemas alejados del equilibrio termodinámico, es decir, sistemas sostenidos por un flujo constante de energía, sistemas que fueron bautizados por Prigogine como “sistemas disipativos”, sistemas cuya característica definitoria es la autoorganización posibilitada por la disipación de energía. El concepto de autoorganización —desarrollado originalmente en cibernética— se refiere a la aparición espontánea de nuevas estructuras y nuevos modos de comportamiento en sistemas lejos del equilibrio, un tipo de organización caracterizado por mecanismos de retroalimentación, autorregulación y otras propiedades emergentes que aparecen en un proceso evolutivo creativo, no-lineal y estocástico. Un ejemplo clásico son las células de convección descritas por Henri Bénard.

⁸ En matemáticas no-lineales, estos umbrales de inestabilidad son estudiados como “bifurcaciones”, y los nuevos estados estables posibles como “atractores”.



Células de Bénard (Schneider y Sagan 2008: 153)

Observadas primero en el líquido de revelado que utilizaban los fotógrafos de inicios del siglo XIX, se trata de unas pequeñas estructuras, frecuentemente hexagonales (ver imagen), que aparecen bajo ciertas circunstancias en fluidos viscosos atravesados por un flujo de energía (calor). Para observarlas, se coloca una capa delgada del fluido en un recipiente (en la preparación que se muestra en la fotografía, se trata de una capa de silicona de 1.9mm de grosor en una placa de 10.5 cm de diámetro), el flujo de energía (gradiente térmico) se establece calentando el recipiente desde abajo y permitiendo que la superficie del líquido esté en contacto con aire frío (en el experimento de la fotografía, la capa de aire, de 0.4mm de grosor, se encuentra bajo una tapa de zafiro uniformemente refrigerada). Aplicando un flujo moderado de calor, el líquido se comporta de acuerdo a lo señalado por Onsager: se encuentra fuera del equilibrio termodinámico, pero suficientemente cerca para que su comportamiento sea lineal, el calor fluye por difusión simple a través del líquido hasta disiparse en el aire frío. Pero cuando el gradiente térmico es más fuerte (cuando la diferencia de temperatura entre la base y la superficie es mayor), se produce una transición súbita hacia un estado cualitativamente diferente en el que aparece una forma

irreductible de organización entre millones de moléculas, las cuales pasan a interactuar de manera coherente formando estructuras dinámicas macroscópicas: las células de convección. Como se muestra en el diagrama, las moléculas de aceite caliente suben por el centro de cada célula, liberan la energía en el aire frío con forme se desplazan por la superficie moviéndose hacia el perímetro exterior de la célula y descienden nuevamente hacia la base para calentarse de nuevo... El fluido se divide espontáneamente en un conjunto de estructuras toroidales que manifiestan un alto grado de organización cuyo tamaño (0.625 cm en promedio) y forma es definido de manera relativamente autónoma por el propio sistema, estructuras dinámicas mucho más eficientes para conducir la energía que la mera termodifusión, las cuales se mantendrán estables de manera indefinida mientras el gradiente térmico se mantenga estable. Tenemos, pues, un ejemplo de sistemas disipativos: unidades autoorganizadas que aparecen espontáneamente (bajo ciertas circunstancias) sostenidas por un flujo de energía; unidades coherentes, holísticas, irreductibles, cuyas propiedades son definidas por las relaciones dinámicas entre sus partes. Como pequeños remolinos, los componentes materiales (moléculas) que forman cada célula están en continuo cambio, pero las relaciones entre los componentes (su organización) se conservan estables: este equilibrio entre cambio y conservación es básico para la existencia de los sistemas disipativos y, como veremos, para su evolución.

Tenemos entonces que la existencia del sistema está sostenida por condiciones ambientales (el flujo de energía) pero sus características no están determinadas por éste: los umbrales de estabilidad son puntos de transición estocástica donde es imposible aplicar ecuaciones lineales para predecir de manera determinista el nuevo estado en el que se instalará el sistema. Para entender la evolución del sistema a través de estos umbrales es necesario considerar momentos de estabilidad (metaestabilidad) que es susceptible de describirse con ecuaciones deterministas, y momentos de inestabilidad (fluctuaciones) que sólo pueden entenderse con ecuaciones no-lineales. Esto implica que la evolución de dichos sistemas en el tiempo debe ser descrita en términos de historicidad y contingencia: no hay leyes deterministas que permitan predecir linealmente su evolución, hace

falta observar el resultado de interacciones complejas y elaborar una descripción que incluya la contingencia y el azar.

Un universo físico que intrínsecamente manifiesta este tipo de creatividad impredecible y en la que surgen cambios cualitativos irreductibles, permite superar aquella división radical según la cual sólo los fenómenos biológicos o culturales resultan propiamente históricos. Además, la evolución de los sistemas disipativos manifiesta cierto tipo de “memoria”: el estado presente de un sistema particular es resultado de su historia particular, de los cambios en el ambiente que haya experimentado y de los caminos que haya tomado en cada umbral de transición (bifurcaciones), situación contraria al avance en el tiempo como progresiva indiferenciación y “pérdida de memoria” de las condiciones iniciales que describen los modelos de la termodinámica clásica.

Como veíamos hace un momento, si el flujo de energía se mantiene, el sistema puede mantenerse estable. Si el flujo de energía aumenta, el sistema puede llegar a nuevos umbrales de inestabilidad, donde fluctuaciones estocásticas abrirán nuevamente la puerta para transiciones súbitas hacia nuevos estados. Conforme los gradientes energéticos que atraviesan el sistema se hagan más fuertes, éste se alejará más y más del equilibrio termodinámico, atravesando sucesivos umbrales de inestabilidad y exhibiendo formas de organización cada vez más complejas, capaces de realizar de manera más eficiente la disipación del gradiente intensificado. En cambio, si el flujo de energía disminuye, los sistemas disipativos regresarán a estados menos complejos, de menor disipación. Si el flujo de energía se interrumpe completamente, el fluido avanzará hasta instalarse definitivamente en el equilibrio termodinámico.

Los modelos que describen el surgimiento y la desaparición de las estructuras disipativas permitieron, por primera vez, hacer científicamente comprensible la posibilidad de una evolución hacia formas progresivamente más complejas. Estos sistemas que evolucionan hacia estados cada vez más complejos y alejados del equilibrio termodinámico no están violando la segunda ley, de hecho, su existencia es sostenida por el flujo de energía (y el consiguiente aumento de entropía) descrito por dicha ley. Podemos decir que, siendo sistemas abiertos, existen

mientras sean capaces de “importar” energía de su entorno y de “exportar” entropía hacia el mismo: observando al sistema y a su entorno en conjunto, la entropía total siempre aumenta, pero el sistema disipativo logra exportarla al medio y mantenerse en un estado de baja entropía y elevada organización, lejos del equilibrio termodinámico. De esta manera, podemos entender que, en un Universo que avanza en el tiempo de acuerdo a lo descrito por la segunda ley, existan procesos que no evolucionan hacia el equilibrio termodinámico sino que se alejan progresivamente del mismo exhibiendo un incremento en su complejidad. Sin embargo, no debemos caer en el error de pensar que, para los sistemas disipativos, existe una tendencia *universal* hacia el incremento de la complejidad y del gasto energético. Este es un punto que será crucial para el argumento que desarrollaré en los siguientes capítulos. Los modelos de Prigogine nos permiten entender que sea *posible* la evolución de sistemas en direcciones en que exhiben una creciente complejidad y orden, pero esto no significa que todos los sistemas disipativos avanzan *necesariamente* en esta dirección. Dependiendo de las circunstancias particulares, podemos ver que aparecen sistemas, podemos ver que se mantienen estables en el tiempo o que desaparecen, podemos observar procesos evolutivos en los que los sistemas exhiben cada vez mayor complejidad (sostenidos por flujos energéticos cada vez más fuertes), o podemos ver procesos en que los sistemas evolucionan hacia formas menos complejas (capaces de subsistir con flujos de energía más moderados). Todos estos procesos son posibles en un universo que avanza en la dirección marcada por la segunda ley. No hay *una* tendencia *universal* ni una direccionalidad absoluta: existe una *diversidad* de caminos posibles que dependen de circunstancias *particulares*.

1.2.4. ¿“Muerte térmica” del Universo?

La termodinámica clásica quiso generalizar uno de estos caminos —el camino hacia el equilibrio termodinámico— como si fuera una tendencia universal y definitiva: los resultados iniciales de la joven ciencia se extrapolaron para predecir la inevitable muerte térmica del universo entero. A partir de esto, es frecuente escuchar que la tendencia de la energía a disiparse y perder su capacidad de realizar trabajo útil conduce inevitablemente a la desoladora perspectiva de un universo agonizante: el mundo se paralizaría irremediable y definitivamente sin que hubiera nada que pudiera echarlo a andar nuevamente, jamás. “Un libro decimonónico mostraba a un hombre de barba blanca mirando con expresión de horror hacia el océano, que se había congelado. Un sol moribundo y un océano de hielo sólido” (...) «Así es como acabará el mundo, no con una explosión, sino con un sollozo» escribió el poeta T. S. Elliot” (Schneider y Sagan 2008: 29). Para algunos, la termodinámica clásica había confirmado las profecías judeocristianas según las cuales este mundo habría sido creado ya pre-programado para su irremediable destrucción: el mundo habría funcionado de acuerdo con la primera ley de la termodinámica —ley de la conservación — cuando Adán y Eva habitaban el paraíso, pero tras el pecado original, Dios habría dictado la segunda —ley de la degradación—. Para quienes no creían en la salvación después de la muerte, el pronóstico era definitivo: sin energía de la cual alimentarse, toda la Vida y todo esfuerzo humano se revelaban condenados al fracaso en el futuro, sin esperanza de ningún triunfo final sobre la muerte. “Un estado final más aburrido que el cielo y más frío que el infierno, un apocalipsis nada místico y con menos sentido que la fantasía más pesimista del filósofo más depresivo” (Schneider y Sagan 2008: 29).

Como señalan Schneider y Sagan (2008: 105), tales extrapolaciones parecen haber sido algo prematuras. En realidad no sabemos si el Universo completo se comporta como un sistema aislado; se trata de una hipótesis conceptual para la cual parece imposible obtener evidencia empírica. Pero incluso aceptando que así fuera (si asumimos que el Universo es la totalidad de lo existente, entonces por definición no habría materia ni energía fuera de él, con lo que de cierta manera

parecería “aislado”), si el Universo fuera infinito podría no comportarse como los sistemas de la termodinámica clásica y quizá pueda burlar la muerte térmica (Schneider y Sagan 2008: 105). Sólo los especialistas tendrán elementos para discutir este tipo de interpretaciones, pero al menos podemos saber que se han considerado distintos modelos. De acuerdo con Fritjof Capra, las ecuaciones de Einstein no arrojan una respuesta única:

Generan varias soluciones diferentes, correspondiendo a diferentes modelos de universo. Algunos modelos predicen que la expansión continuará para siempre. Otros, que irá disminuyendo su velocidad y finalmente se iniciará una contracción. Estos modelos describen un universo oscilante, que se expande durante billones de años, contrayéndose después hasta que su masa total llega a condensarse en una pequeña bola de materia para iniciar luego otra expansión más y así sucesivamente, sin final. (Capra 2002: 256-257).

La muerte térmica del Universo corresponde a tales escenarios en los que la materia continúa expandiéndose y la energía dispersándose irremediablemente. Lo que se discute es el papel que puede tener la gravedad en todo esto, pues así como la entropía “aborrece los gradientes” (el incremento de la entropía implica el agotamiento de gradientes energéticos, térmicos, de presión, etc.) la fuerza de gravedad *genera* gradientes (a escala astronómica) y, al parecer, genera energía disponible (por ejemplo en nubes estelares).

La teoría de Hawking de la termodinámica de los agujeros negros ofrece alguna esperanza de que la muerte térmica del universo imaginada por los victorianos nunca llegue a consumarse. La segunda ley está ligada al tiempo, que ‘avanza’ en la dirección de probabilidad creciente (entropía creciente) que también es la dirección de la expansión del universo, así como de la radiación saliente de las estrellas. Cuando el universo comience a contraerse gravitatoriamente (si es que contiene suficiente materia oscura para producir una ‘gran contracción’, lo contrario al *big bang*) puede que el sentido del tiempo se invierta. El cibernético Norbert Wiener, el termodinámico Ludwig Boltzmann, el físico Thomas Gold, el cosmólogo Stephen Hawking y otros han considerado la inversión temporal en

áreas de entropía decreciente, como en el interior de un agujero negro o en un universo futuro en contracción. (Schneider y Sagan 2008: 390-391)

1.2.5. Los límites del conocimiento

De acuerdo con los mismos autores, siendo que las interacciones entre las fuerzas fundamentales del universo —la gravedad, el electromagnetismo y las fuerzas nucleares débil y fuerte— no están completamente integradas, como tampoco lo está la materia total del universo conocido, la hipótesis de la muerte térmica del universo no está científicamente demostrada (Schneider y Sagan: 2008: 30). Actualmente, el ideal de una gran teoría que logre integrar —en una única y elegante ecuación— todos los fenómenos del Universo, parece cada vez menos asequible. El propio Stephen Hawking —uno de los más célebres impulsores de esta búsqueda— ha abandonado recientemente dicho proyecto, convencido de que es fundamentalmente imposible construir una “teoría del Todo” con la que —por decirlo así— pudiéramos acceder a la mente de Dios. No se trata solamente de nuestra ignorancia sino de que, al parecer, la naturaleza multidimensional del Universo no es susceptible de reducción. Desde la perspectiva actual, parece inútil seguir intentando encontrar un conjunto de leyes fundamentales de aplicación universal y tratar de reducir la totalidad de los fenómenos observables a un conjunto limitado de modelos: de diversas maneras, la física actual nos presenta una diversidad de modelos irreducibles entre sí, aplicables para un conjunto limitado y finito de fenómenos, bajo circunstancias particulares y dentro de dominios definidos. Como señala Prigogine:

Nadie ignora que un péndulo exento de fricción es reversible y determinista; la difusión térmica o química es determinista e irreversible, los movimiento susceptibles de descripción en términos de trayectorias son deterministas, y cualquiera califica de casual el número que resulta de arrojar los dados. Sería difícil aceptar una visión del mundo que excluyera una categoría de fenómenos a favor de otra (Prigogine 2009: 49).

La mecánica newtoniana no ha sido “refutada”: sigue funcionando plenamente en el dominio particular de fenómenos que ella describe y sigue sosteniendo un amplio conjunto de desarrollos tecnológicos que utilizamos día a día. La cuestión es que ya no podemos tomar ese conjunto particular de fenómenos —ni ningún otro— como si fueran la dimensión *fundamental* del Universo, como si fuera una dimensión “básica” cuyo conocimiento es suficiente para *derivar* el resto del mundo. Tampoco podemos pensar que las mediciones que podemos hacer en este nivel de la realidad —ni en ningún otro— son absolutas y universales, y que automáticamente aplican para todo nivel de la realidad. La propia idea decimonónica de “Ley” natural parece estar siendo superada. Surgida en el contexto histórico-cultural de las monarquías absolutistas, el ideal político del orden sostenido por un soberano se proyectó al plano metafísico postulando un universo gobernado “desde arriba” por un Dios omnipotente, monarca absoluto, cuyos decretos se cumplen de manera estricta y universal. Tomando el punto de vista de Dios como centro referencial fijo y absoluto, se supuso que existe un nivel básico de realidad que sostiene todo lo demás y que es fundamentalmente estable más allá de las apariencias, y se supuso que el método científico no sólo nos permitiría acceder a dicho punto de vista sino modelarlo y matematizarlo de tal manera que pudiéramos utilizarlo a voluntad, logrando con ello el dominio definitivo de la razón sobre la materia.

Como veremos más adelante, aceptar que no es posible una descripción objetiva del mundo cuyas afirmaciones tengan validez absoluta y universal —como si accediéramos al punto de vista de Dios— no implica necesariamente la imposibilidad del conocimiento verdadero ni nos arroja irremediabilmente al abismo del solipsismo (la extraña creencia de que la realidad es sólo una proyección de nuestras mentes y que “no existe el mundo, sólo existe nuestra mente”). Sin renunciar a la creencia de que vivimos en un mismo mundo, la ciencia en general exige una nueva base epistemológica y una nueva articulación metateórica que permita la coexistencia de perspectivas múltiples, cada una de ellas limitada y anclada a la perspectiva particular de un observador. Como dice Prigogine, “los modelos que adoptamos para el estudio del mundo natural deben

necesariamente presentar un carácter pluralista que refleje la variedad de fenómenos que observamos” (Prigogine 2009: 49). En los capítulos siguientes plantearé las bases para una comprensión del relativismo epistemológico que permite lo anterior sin perder el anclaje en el “mundo real”, una comprensión de la relación observador-mundo que, aceptando que toda observación depende de (es relativa a) las características particulares del observador, rechaza el absurdo de que cada quien cree su propia realidad según sus caprichos personales. Ya no es posible imaginar que describimos la realidad como se le presentaría a un observador que en cierto modo se hallara situado fuera del mundo: sólo podemos describir nuestras experiencias como observadores situados *en el mundo*, lo cual nos obliga a entendernos como participantes en el propio mundo que describimos. Como concluye el mismo Prigogine, nos encontramos en un momento crucial en el que debemos entablar un nuevo diálogo con la naturaleza, un diálogo que “sólo logrará éxito si se prosigue *desde dentro* de la naturaleza” (Prigogine 2009: 29). Resulta interesante que los nuevos desarrollos en física no sólo *nos obligan a* buscar posicionarnos como observadores dentro del mundo, sino que *lo hacen posible*, rebasando de múltiples maneras la visión del mundo físico como *res extensa* que nos impedía identificarnos con él. Tenemos ahora un entendimiento de la realidad física como una entidad activa, creativa, no-determinada, que evoluciona en el tiempo de manera histórica y generando innovación cualitativa. Las nuevas perspectivas sobre la evolución del Universo permiten visualizarnos como parte de él sin que esto implique desvalorizar nuestra existencia... El ideal de dominar definitivamente al mundo físico —como si fuera una máquina completamente determinada— se nos escapa de las manos, pero ahora tenemos al alcance una visión del mundo que nos permite entendernos como parte de él sin la necesidad de convertirnos en autómatas. Se trata de una visión del mundo que —como veremos en los siguientes capítulos— nos permite plantearnos otros ideales con respecto a la pregunta sobre cuál es la mejor manera de habitar el mundo: ya no como un Dios-soberano que lo gobierne desde la exterioridad, sino como un habitante más que participa desde dentro.

Entropía y caos

Como dije arriba, entre los conceptos trabajados en termodinámica, *caos* y *entropía* son seguramente los que más atención han despertado, interés que parece directamente proporcional a la ambigüedad con la que se les utiliza, frecuentemente cayendo en afirmaciones sensacionalistas que —pese a su lenguaje aparentemente técnico— tienen en realidad muy poco sustento. Me refiero a afirmaciones como que la segunda ley de la termodinámica señala que “el Universo se sumirá irremediablemente en el caos” o que todo gasto de energía implica necesariamente “generar más caos en el Universo”.

Originalmente, en el sentido griego de la palabra, “caos” hacía referencia a la entidad amorfa y equilibrada de la que luego surgió el universo ordenado. En termodinámica, por “caos” se entiende desorganización, desorden o incoherencia. Tal y como sugiere el uso ordinario de esta palabra, alude a eventos aleatorios, no correlacionados, sin orden y fundamentalmente impredecibles, especialmente aplicable al nivel atómico y molecular⁹.

⁹En las últimas décadas una parte de las Ciencias del Caos ha trabajado el llamado “caos determinista”, que resulta de ciertas ecuaciones deterministas que (a causa de la incapacidad de especificar las condiciones de contorno con la suficiente precisión) arrojan soluciones indeterminadas. No es el caos clásico de desorden total, sino que se aplica a sistemas deterministas cuyo desarrollo no puede predecirse aunque se conozcan con exactitud las condiciones iniciales y las operaciones matemáticas responsables de su complejidad. Este caos determinista se utiliza sobre todo en una especie de matemática experimental basada en modelos teóricos y por computadora. Pese a su interés como *modelos* generados por computadora, estas “dinámicas caóticas” son de uso limitado a la hora de estudiar sistemas complejos *reales* —como organismos o ecosistemas— debido al elevado número de variables que intervienen en su operar, lo que los hace imposibles de modelar.

A finales del siglo XIX, Ludwig Boltzmann se propuso entender qué significa la tendencia al equilibrio termodinámico descrito por la segunda ley para los átomos o moléculas que componen las sustancias macroscópicas estudiadas por la termodinámica clásica. En teoría, el comportamiento de estas partículas debería poder entenderse aplicando la mecánica newtoniana. Sin embargo, en un litro de aire existen incontables átomos o moléculas, lo que hace imposible intentar analizar su comportamiento con la misma precisión que se ha logrado para la trayectoria de los cuerpos celestes (que constituyen unidades contables). Ante tal problema, Boltzmann encontró inspiración en el trabajo de una de las máximas figuras científicas de la época: Charles Darwin. El naturalista inglés había explicado la dinámica evolutiva de las especies (el cambio mediado por la selección natural) a partir del análisis del comportamiento de poblaciones, compuestas por incontables organismos individuales. Boltzmann se propuso hacer lo mismo, partiendo de la observación de que el comportamiento del calor en los gases —esas masas de partículas cuyas trayectorias era imposible estudiar individualmente— mostraba tendencias consistentes.

Uno de los razonamientos clave de Boltzmann al aplicar la teoría de la probabilidad al comportamiento de micropartículas fue que, mientras mayores son los números de unidades consideradas, su comportamiento colectivo promedio se hace indistinguible de su comportamiento colectivo real. Por ejemplo, para conocer las probabilidades de obtener cara o cruz lanzando una moneda perfectamente equilibrada, el comportamiento promedio sólo es apreciable tras un número suficiente de lanzamientos. Con pocos lanzamientos, la probabilidad de patrones anómalos es mayor, pero con muchos lanzamientos, la distribución de los resultados se aproximará a un 50-50%. Así, cuando consideramos las trayectorias probables de 10 trillones de moléculas moviéndose aleatoriamente, los promedios estadísticos convergen estrechamente con la realidad.

Para entender el concepto boltzmanniano de “orden”, veamos el siguiente ejemplo. Imaginemos que tenemos un saco lleno de arena de dos colores, la mitad inferior con arena blanca y la mitad superior con arena negra. Éste sería un estado de elevado “orden”. Conforme agitemos el saco, los granos de arena tenderán a

mezclarse hasta alcanzar un color gris homogéneo, que marcaría el máximo “desorden”. Agitando el saco durante un tiempo suficientemente largo, resulta teóricamente posible que los granos de arena se volvieran a separar por colores en cada mitad del saco (que se revirtiera la tendencia hacia el desorden o caos); sin embargo, la probabilidad de esto es tan increíblemente baja, que podemos postular una “ley probabilística” señalando que eso no sucederá.

Algo semejante ocurriría con las moléculas de un gas. Si tenemos un contenedor dividido en dos compartimentos (conectados por una puerta), resulta enormemente improbable que las moléculas del gas, moviéndose aleatoriamente por el contenedor, se agrupen espontáneamente todas juntas en uno solo de los dos contenedores. Si cerramos la puerta entre ambos contenedores, es posible tener un contenedor vacío y llenar el otro con gas. La diferencia de presión entre ambos (el gradiente de presión) permitiría utilizar esta situación inicial de elevado “orden” para realizar trabajo en el momento en que abramos la puerta, por ejemplo, colocando en la puerta alguna especie de molino que se active conforme las moléculas pasen de un compartimento al otro. Cuando la diferencia de presión entre ambos compartimentos se disuelva, la capacidad de realizar trabajo se agota, podemos decir que el sistema ha alcanzado su punto de máxima entropía y máximo “desorden” molecular (caos).

Con este tipo de razonamientos, Boltzmann reformuló las observaciones de la termodinámica macroscópica en términos de la teoría de la probabilidad: la tendencia de los átomos a entremezclarse podía generalizarse como una tendencia de las cosas (a nivel microscópico) a cambiar en dirección al estado más probable, lo cual constituyó una nueva forma (estadística) de entender el incremento de la entropía con el tiempo. Cuando calentamos un objeto, transmitimos energía cinética a sus moléculas con lo que el movimiento de éstas se hace más caótico. Por el contrario, para hablar de trabajo (otra forma de transmitir energía a un cuerpo o sistema) debemos observar un movimiento coherente en las moléculas del cuerpo receptor (como cuando una bola de golf es impulsada por un bastón: todas las moléculas se mueven en una misma dirección). No toda la energía transmitida puede convertirse efectivamente en

trabajo, sino que una parte necesariamente se disipa en forma de calor (energía no utilizable), por lo que —en este sentido acotado— es válido vincular entropía y caos.

La mecánica estadística de Boltzmann se basaba en un planteamiento arriesgado para su época: la teoría cinética del calor. Sin poder observarlos directamente, Boltzmann postuló que la diferencia de temperatura entre dos gases idénticos podía explicarse como una diferencia en la velocidad con la que se mueven los átomos o moléculas que lo constituyen. Duramente criticado por sus contemporáneos positivistas, quienes rechazaron tal planteamiento ante la falta de evidencia empírica, Boltzmann se fue quedando solo con sus teorías hasta que decidió suicidarse en 1906. Este hecho resulta aún más trágico sabiendo que, para esa fecha, Albert Einstein —en sus estudios sobre el movimiento browniano— había proporcionado ya precisamente el tipo de prueba empírica que los críticos de Boltzmann exigían, pruebas que desafortunadamente él ya no llegó a conocer. A partir de entonces, “los átomos invisibles ya podían ser observados, inquietos y chocando con partículas mayores” (Schneider y Sagan 2008: 102).

Como aclaran Sagan y Schneider, “un escritorio ordenado, con libros y documentos bien apilados, no necesariamente tiene menos entropía termodinámica que un escritorio desordenado. Esto es así porque la entropía termodinámica no tiene que ver con objetos macroscópicos sino con partículas microscópicas medidas por la temperatura” (2008: 49). En este sentido, pese a que se ha popularizado la identificación de entropía con “caos” y “desorden” en un sentido amplio y metafórico, siendo rigurosos tal asociación sólo es válida a nivel microscópico.

ANEXO B

Entropía e información

Otra confusión terminológica que ha enturbiado la comprensión general de la segunda ley es la equivocada identificación de la entropía termodinámica con el concepto de "entropía" que se utiliza en teoría de la información o teoría de la comunicación, disciplinas abocadas al estudio del envío de mensajes entre teléfonos, computadoras, etc.

En teoría de la información, la entropía describe la incertidumbre asociada a los caracteres de los mensajes enviados o recibidos. Se trata de un uso diferente del que posee la entropía termodinámica. [...] Entre ambas nociones existen similitudes pero éstas se deben más a la forma matemática de las ecuaciones que a aquello que refieren. (Schneider y Sagan 2008: 48)

El hecho de que ambas nociones lleven el nombre "entropía" produce la impresión de que existen profundas raíces físicas que ligan la termodinámica a la teoría de la información, sin embargo, no existe una correspondencia simple entre ambas teorías por lo que de ninguna manera podemos tomar estas dos "entropías" como si fueran un mismo concepto. Pese a lo sugerente que ha resultado pensar el vínculo entre termodinámica y teoría de la información, esta equivocada identificación ha llevado por mal camino a muchos investigadores.

Algunos han intentado conectar ambas teorías señalando que para producir o eliminar un bit de información es necesario invertir energía, sin embargo, de poco sirve esta relación para intentar una equivalencia si consideramos que, en algunos casos, producir un sólo bit de información puede requerir mucha energía (el ejemplo de Sagan y Schneider es tener que gritar con todas nuestras fuerzas para que una persona sorda nos escuche) mientras que en otros casos basta con un ínfimo proceso cuántico (Schneider y Sagan 2008: 49). Por otro lado, la

información (en teoría de la información) no equivale al orden, sino al desorden en el sentido de que hacen falta más bits de información para describir situaciones u objetos en desorden que en orden (por ejemplo, se requiere más información para describir una baraja desordenada que una ordenada) (Schneider y Sagan 2008: 52).

Esta confusión —y la tinta gastada en consecuencia— resulta aún más absurda cuando conocemos la razón por la cual Claude Shannon y Warren Weaver, los promotores de la teoría de la información, decidieron llamar “entropía” a un concepto que desde su origen tenía muy poco que ver con la entropía termodinámica. Como narran Tribus y McIrvine (1971) en un artículo publicado en *Scientific American*:

Cuando se encontraron con que no sabían cómo llamar a su nueva medida matemática de la cantidad de información de un mensaje, un amigo, el matemático John von Neumann, le dijo a Shannon: “Llámala entropía; nadie sabe lo que es la entropía en realidad, así que en cualquier debate siempre tendréis ventaja”. Shannon siguió el malicioso consejo de von Neumann, lo cual no hizo más que aumentar la confusión en torno a este término. (citados en Schneider y Sagan 2008: 48).

Lamentablemente, ya es tarde para corregir este error. A partir de esta “entropía” informacional ha proliferado ya una larga lista de subespecies: hay una entropía topológica, una entropía algorítmica, una entropía como dimensión fractal de un conjunto compacto apropiado, una entropía de Galois, relacionada con la asimetría geométrica. Todas estas subespecies están relacionadas con la impredecibilidad, la incompresibilidad, la asimetría o la recurrencia demorada, propiedades abstractas de figuras matemáticas. Si lo que nos interesa son las características energéticas de sistemas reales, debemos recurrir al concepto de entropía termodinámica (Schneider y Sagan 2008: 49).

Considerar que la “información” existe en el universo como si fuera una entidad independiente del observador nos conduce a una epistemología realista, como la del objetivismo moderno, en la que la cognición consiste

fundamentalmente en captar e interiorizar dicha información, siguiendo el modelo de lo que ocurre con una computadora. Como mostraré en el Capítulo 2, la cognición en los seres vivos funciona de una manera muy distinta. La información no existe “ahí afuera”, sino que surge en la interacción de cada organismo con su entorno y es dependiente (relativa a) de las características que constituyen a cada organismo. En física, en biología, en ciencias sociales y en filosofía de la ciencia hay abundantes argumentos para abandonar el “realismo ingenuo” de las epistemologías realistas y objetivistas. Podemos seguir asumiendo que la realidad existe “ahí afuera” (una postura de realismo ontológico, contra los que asumen que “todo es una ilusión” o “un sueño”) pero no tenemos manera de conocerla desde una perspectiva objetiva, lo que equivale a decir que no podemos simplemente “captar información” del mundo. En todo caso, la información se construye en la interacción organismo-ambiente (relativismo epistemológico).

Rechazar la idea de que existe información como una entidad “física” del universo es necesario para abandonar este realismo ingenuo, y —como argumentaré— esto se conecta con la discusión de que los seres vivos no son “computadoras orgánicas”. En ciencia cognitiva y neurociencias, los modelos del cerebro como computadora son muy influyentes, pero hay ciencias cognitivas “no representacionistas” que plantean una visión distinta, yo particularmente sigo la propuesta de Maturana y Varela.

Hay quienes intentan tender un puente que va de la información como entidad física absoluta, a la biología genocéntrica, a las ciencias cognitivas de modelo computacional, a las ciencias de la cultura... tomando como modelo la Teoría de la Información. Yo me separo de esta propuesta creyendo que: (i) la información no es una entidad física, (ii) la entropía termodinámica no equivale a la entropía informacional, (iii) la “información genética” no determina al organismo en su totalidad, (iv) la cognición en los seres vivos es fundamentalmente distinta a el computo de información que puede hacer un ordenador, (v) intentar reducir la cultura a “información” conduce a conocidos problemas filosóficos.

La alternativa que propongo es una “epistemología biocéntrica” aunque no podré desarrollarla a cabalidad en el presente trabajo.

CAPÍTULO 2

Evolución de la Vida

Nature must be considered as a whole if she is to be understood in detail.

Mario Bunge

Impermanence and selflessness are not negative aspects of life,
but the very foundations on which life is built.

Impermanence is the constant transformation of things.

Without impermanence, there can be no life.

Selflessness is the interdependent nature of all things.

Without interdependence, nothing could exist.

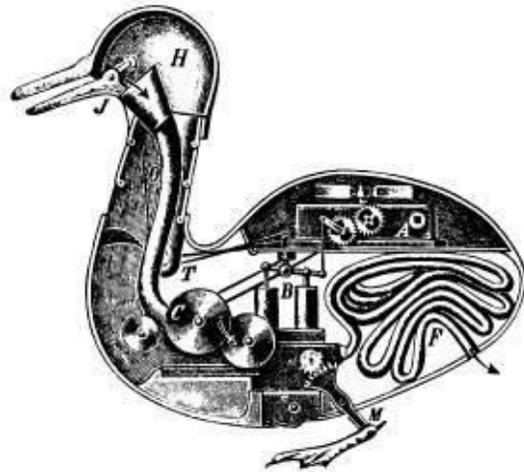
Thich Nhat Hanh

En el siglo XIX, la idea de “evolución” fue desarrollada casi simultáneamente tanto en el ámbito de la física (Carnot, Clausius, Thomson) como en biología (Darwin, Lamarck), en sociología (Spencer, Marx) y en filosofía (Hegel). A simple vista, parecería que se trataba ya de los varios pisos de un edificio teórico unificado; sin embargo, el contenido particular de dicha noción en cada una de estas áreas variaba considerablemente. Los constructores de cada piso encontraron problemas derivados de una falla fundamental: los cimientos de la ciencia moderna están plantados inestablemente sobre un terreno profundamente fracturado. La ruptura metafísica entre el mundo físico y el mundo espiritual, el mundo de la materia (objetiva) y el de la experiencia (subjetiva), el del cuerpo y el

de la mente, la *res extensa* y la *res cogitans*, es una fisura tan profunda que alcanza lo que sería el nivel tectónico de la estructura conceptual del mundo. Es un punto de enorme tensión cuyas fricciones y reajustes han marcado el pulso de las construcciones y derrumbes teóricos en la —por demás trepidante— historia del pensamiento occidental. En el esquema dualista, con la materia inerte por un lado y la racionalidad humana por el otro, los animales y el resto de los seres vivos parecían quedar flotando en el medio. Sobre semejante base, los biólogos no podían sino tironear en una u otra dirección tratando de llevar su objeto de estudio hacia alguno de los extremos.

En la visión de Descartes, todo el mundo natural —incluyendo no sólo el mundo físico sino todo el abanico de seres vivos— no era más que *res extensa*: materia inerte, insensible, pasiva y exodeterminada (sin iniciativa propia). Incluso nuestro propio cuerpo pertenecía a este ámbito, siendo sólo el alma humana

—nuestra esencia racional e inmaterial— la que exhibía cualidades como la inteligencia, la calidad de sujeto (agencia), la creatividad, la libertad... Esto era así porque nuestra alma pertenecía a una realidad trascendente propia de la divinidad. (Así como los animales son materia sin espíritu, Dios sería espíritu sin materia.) Aunque originalmente la etimología de “animal” aludía precisamente a la posesión de un



ánima, un alma , un elemento vital que les impulsa al movimiento, para Descartes todos los seres vivos no eran más que máquinas sin alma¹⁰. En aquella época, sofisticados mecanismos habían permitido la construcción de los primeros autómatas que causaban revuelo entre el público porque *aparentaban* moverse

¹⁰ De manera interesante, antiguamente el alma se asociaba con la función plenamente orgánica de la respiración, el aliento vital

por sí solos, *parecían vivos*¹¹. A sus ojos, el ingenio de los inventores humanos —quienes diseñaban con asombrosa precisión todos los mecanismos ocultos que “daban vida” a estas creaturas— parecía una cualidad casi divina, semejante al ingenio infinito de Dios al diseñar la Creación. Y así como se ensalzaba a los poseedores de esta cualidad cuasidivina, se degradaba correspondientemente a aquellos que, en su opinión, carecían de ella. Si bien algunos animales parecían mostrar algún grado de inteligencia, sentimientos y emociones, solamente se trataba de autómatas con diseños muy ingeniosos que apenas alcanzaban a ser burdas y despreciables imitaciones de las capacidades humanas. En palabras de Descartes:

Estamos tan acostumbrados a persuadirnos de que las bestias brutas sienten como nosotros que nos es difícil desembarazarnos de esta idea. Pero si estuviéramos igual de acostumbrados a ver autómatas que imitasen a la perfección todo aquello que pueden imitar de nuestras acciones, y a tomarlos sólo por autómatas, no tendríamos ninguna duda de que los animales irracionales son autómatas. (en Margulis y Sagan 2009: 37)

Esta actitud de frío desprecio hacia otros animales queda plasmada en la proverbial anécdota sobre el sacerdote y filósofo Nicolás Malebranche —prominente seguidor de Descartes— quien, mientras conversaba sobre la concepción mecanicista de los seres vivos, se habría topado con una perra que (para reforzar la moraleja de la historia) se dice que estaba embarazada. Luego de arrodillarse para acariciarla, este promotor del pensamiento moderno se levantó para propinar tremenda patada en el vientre del animal, cuyos chillidos horrorizaron a los presentes. Cuenta la leyenda que, reprochándoles su demostración de ignorancia, Malebranche les habría instado a guardar su misericordia para las almas humanas, pues la perra que ahora corría aullando no era más que un autómata sin sentimientos: si le acaricias entonces se rasca y

¹¹ Nótese que, a pesar de lo que la palabra “autómata” sugiere, en realidad estos artefactos *no se movían solos* sino que —a diferencia de los animales— eran operados por un agente externo que los impulsaba dando vuelta a una manivela.

mueve mecánicamente la cola, si le pateas entonces arranca automáticamente la carrera. Bajo el modelo cartesiano, se entendió al ente biológico como un mecanismo de relojería, explicando la fisiología como resultado del movimiento de poleas, palancas, bombas hidráulicas, etcétera. Esta visión impulsó definitivamente el programa de investigación científica sobre fisiología, anatomía y biología en general, en cuyo caso, la aplicación del procedimiento analítico cartesiano implicaba, como lo hace todavía, rutinarias disecciones y vivisecciones.

según Descartes, los animales son insensibles; no pueden sufrir dado que carecen de un alma. Esta manera de interpretar la realidad lo llevó a practicar la vivisección en perros y gatos amarrados a una tabla, pues como no sufrían, según él, les metía varillas de metal en la garganta y tubos en las arterias, o les enganchaba los nervios con garfios, para estimularlos química y mecánicamente. (Cerejido 2011:79)

Después hubo que agregar procesos químicos para entender la digestión o la respiración, y todavía había muchos ingeniosos mecanismos por descifrar pero era claro que no había ningún “misterio” involucrado en su funcionamiento más allá de la obediencia de las leyes físicas y químicas. Los filósofos vitalistas reaccionaron contra esta visión señalando que, para una verdadera comprensión de la Vida, la reducción a las leyes físicas y químicas no sería suficiente: había un elemento irreductible que iba más allá de lo meramente físico. En un mundo dividido entre autómatas y espíritus, el único ingrediente adicional que podían ellos postular era un elemento inmaterial, espiritual, que insuflaba la vida en los organismos. La discusión clásica entre mecanicistas y vitalistas giraba en torno de la pregunta: ¿pertenecen los seres vivos exclusivamente al dominio de la materia inerte (*res extensa*) o participan también de la realidad espiritual (*res cogitans*) como nosotros?

Los vitalistas perdieron el debate; la concepción mecanicista del organismo se volvió hegemónica. La también clásica discusión entre creacionistas y evolucionistas constituye, de cierta manera, un reflejo de esta misma discusión en un nivel superior. Para los primeros, los intrincados y maravillosos diseños que

exhiben los organismos de las distintas especies no pueden sino ser resultado del diseño inteligente de Dios (espíritu racional por excelencia). La teoría darwinista presentaba el modelo de un *mecanismo* mediante el cual, sin necesidad de la intervención directa de Dios, las especies podían evolucionar —con todas sus fascinantes características adaptativas— a partir de un ancestro común.

Ni Newton ni Darwin se propusieron negar la existencia de Dios (ni del mundo espiritual). Lo que presentaron fueron modelos de cómo el mundo —físico y biológico, respectivamente— podía funcionar por sí mismo, mecánicamente. La clásica metáfora de William Paley lo resume bien: así como un relojero construye y echa a andar un reloj, el cual continúa moviéndose *por sí mismo*, así habría hecho Dios en la Creación. Si Dios descansó en el séptimo día, sería porque ahora el mundo funcionaba por sí mismo, sin necesitar de su continua intervención. Los modelos de Newton y Darwin describían de modo preciso las leyes con las que operaba la mecánica de relojería del mundo. Con esto, el mundo biológico parecía integrarse en la cosmovisión moderna del “mundo-máquina”. La biología parecía avanzar por buen camino para integrarse a la física. Para alarma de muchos, nosotros mismos como especie parecíamos integrados al *continuum* de la vida... ¿Podría ser que no seamos más que autómatas? ¿Las ciencias humanas también terminarían por reducirse a causas y efectos físicos? Pero esta discusión corresponde al siguiente capítulo.

Sin embargo, un nuevo problema surgía. La evolución del mundo físico modelada por la termodinámica clásica (que también partía del estudio de máquinas, los motores de vapor, y llegaba a postular leyes universales mediante la misma operación de equiparar el cosmos con una enorme máquina) constituía un proceso de *degradación*: la energía se degrada progresivamente, irremediablemente, hacia la muerte térmica del Universo. Agregando ingredientes para un cuadro fatalista, Boltzmann equiparaba el aumento de la entropía con la caída hacia el desorden y el caos (ver Capítulo 1). En cambio, la evolución de la vida se interpretaba como una progresiva *ascensión*, desde las “bestias” más “brutas” hasta nuestra iluminada especie. La controvertida teoría de Darwin fue originalmente aceptada en la medida en que se le integraba en la ideología

victoriana del progreso de la humanidad como un avance hacia el orden racional y la civilización. ¿Los seres vivos violan las leyes termodinámicas? ¿La evolución darwiniana —entendida como un proceso gradual de *mejoramiento* de las especies mediante la supervivencia del más apto, proceso que conduciría “naturalmente” hacia la aparición de nuestra especie— avanza en un sentido opuesto a la segunda ley de la termodinámica? ¿O será que nuestra visión de “progreso” como ascensión no es nada más que una ilusión y en realidad somos parte del universo termodinámico-degenerativo?

2.1 ¿Qué es la Vida?

En el siglo XX, con el triunfal desciframiento del código genético, parecía que finalmente retiraríamos el velo que cubre el secreto de la vida. La biología molecular parecía haber encontrado el “átomo” de la biología —el gen— la unidad mínima y fundamental cuya comprensión permitiría obtener el control sobre la totalidad del organismo. Si los seres vivos son como autómatas, el código genético sería como el instructivo para armarlos. La ingeniería genética se proyectaba como el glorioso momento en que el ingenio humano finalmente lograría manipular a los seres vivos a voluntad, como el diseñador hace con sus autómatas, como el Relojero con su reloj.

Si bien esta promesa de omnipotencia sigue vigente en los discursos de los divulgadores de la ciencia, en los comerciales de las empresas del ramo y en las fantasías de la ciencia ficción, la mayoría de los investigadores involucrados ha transitado del exaltado optimismo hacia una más discreta humildad. Está claro que la biología molecular y la genómica han contribuido enormemente a nuestra comprensión de la vida y que sus programas de investigación han arrojado incontables descubrimientos de utilidad práctica, sin embargo, hoy en día queda claro que la vida de un organismo no está determinada por su genoma y que conocer este nivel no es suficiente para controlar al organismo. Es falso pensar que “toda la información necesaria para construir un ser vivo está codificada en su

genoma”, como todavía se suele escuchar. La estrategia reduccionista que intentaba derivar todo el organismo a partir de los genes como unidades elementales se ve limitada para comprender los complejos procesos integrativos que constituyen a un ser vivo como totalidad. Como discutiré a lo largo de este capítulo, los genes no son necesarios ni suficientes para definir la vida, ni constituyen el nivel fundamental y monocausal al que pueda reducirse la fenomenología biológica.

Lo que se festejó como el triunfo definitivo de la estrategia atomista-reduccionista para entender al organismo, está resultando más bien el inicio de una nueva comprensión de la complejidad del mismo. Hoy en día queda claro que los genes por sí solos no constituyen el agente causal del desarrollo (ontogenia) ni de la evolución (filogenia), su participación depende de la manera en que los complejos procesos metabólicos de la célula los utilizan e interpretan. Con un mismo código genético distintas células pueden generar procesos completamente divergentes entre sí, dependiendo de todo un mundo de procesamientos intracelulares (incluyendo mecanismos de activación o silenciamiento de genes). Resulta indispensable estudiar al organismo *como un todo* irreductible, para lo cual es necesario tomar una perspectiva holística, sistémica (lo contrario del atomismo reduccionista). Y, como veremos a lo largo del capítulo, esta perspectiva invita a ir todavía más allá de los organismos individuales, hacia los ecosistemas, y hacia la biósfera como un todo integrado...

Notablemente, en el mismo libro en el que Erwin Schrödinger desarrolló de manera pionera la hipótesis de la estructura molecular del ADN que inspiraría el trabajo de generaciones enteras de genetistas bajo el paradigma atomista-reduccionista, también elaboró sobre otra idea clave —adelantada previamente por Ludwig Boltzmann y Alfred Lotka— que actualmente está atrayendo cada vez más el interés de quienes buscan responder la pregunta que daba título a su visionario libro: *¿Qué es la vida?* (1944), desde una perspectiva sistémica y holística. Schrödinger —quien recibió en 1933 el Premio Nobel por su contribución en la formulación matemática de la física cuántica— escribía:

¿Cuál es el rasgo característico de la vida? ¿Cuándo puede decirse que un pedazo de materia está vivo? Cuando sigue “haciendo algo”, ya sea moviéndose, intercambiando material con el medio ambiente, etcétera, y ello durante un periodo mucho más largo que el que esperaríamos que “siguiera haciéndolo” un pedazo de materia inanimada en circunstancias similares. Cuando un sistema no viviente es aislado, o colocado en un ambiente uniforme, todo movimiento llega muy pronto a una paralización [...] las sustancias que tienden a formar un compuesto químico lo hacen y la temperatura pasa a ser uniforme por la transmisión de calor. Después, todo el sistema queda convertido en un montón muerto e inerte de materia. Se ha alcanzado un estado permanente, en el cual no ocurre suceso observable alguno. El físico llama a este estado de equilibrio termodinámico, o de “máxima entropía”. (Schrödinger 2012: 110)

Observando que los seres vivos se caracterizan por mantenerse alejados del equilibrio termodinámico, encontramos la respuesta a la tensión arriba mencionada entre la segunda ley de la termodinámica y la fenomenología biológica. Queda claro que —como dice el mismo autor— “todo proceso, suceso o acontecimiento que pasa en la Naturaleza, significa un aumento de la entropía de aquella parte del mundo donde ocurre. Por lo tanto, un organismo vivo (...) tiende a aproximarse al peligroso estado de entropía máxima que es la muerte.” (Schrödinger 2012: 111). Entonces, “¿de qué forma evita la degradación el organismo vivo?”, se pregunta Schrödinger.

La contestación obvia es: comiendo, bebiendo, respirando, fotosintetizando, etcétera. El término técnico que engloba todo eso es “metabolismo”. La palabra griega de la que deriva [...] significa cambio o intercambio. ¿Intercambio de qué? [...] ¿Qué es, entonces, ese precioso algo contenido en nuestros alimentos y que nos defiende de la muerte? Esto es fácil de contestar. [...] Sólo puede mantenerse lejos de ella, es decir, vivo, extrayendo continuamente [energía disponible] de su medio ambiente... De lo que un organismo vivo se alimenta es de [energía disponible]. O, para expresarlo

menos paradójicamente, el punto esencial del metabolismo es aquel en el que el organismo consigue librarse de toda la entropía que no puede dejar de producir mientras está vivo. (Schrödinger 2012: 111)¹²

Tenemos entonces que una característica fundamental de la vida es que consiste en la disipación continua de energía, lo que implica la necesidad de un constante suministro de energía de alta calidad (baja entropía) y la expulsión continuada de energía degradada (en forma de calor, con alta entropía) al ambiente. Para muchos organismos, la energía necesaria para mantenerse con vida viene contenida en la materia de la que se alimentan (excepto para los autótrofos, quienes obtienen energía y materiales de fuentes separadas), así que vistos como sistemas, requieren de un input sostenido de materia con baja entropía y expulsan continuamente desechos o residuos materiales con alta entropía.

De esta manera, los pioneros trabajos de Boltzmann, Lotka y Schrödinger avanzaban una descripción metabólica de los seres vivos como sistemas importadores de energía y exportadores de entropía antes de que existiera una teoría formal que pudiera describir una dinámica semejante. Posteriormente, el trabajo de Ilya Prigogine allanó el camino proporcionando nuevos modelos teóricos para entender la existencia de sistemas disipativos alejados del equilibrio termodinámico. Al igual que los modelos necesarios para describir el metabolismo, la termodinámica de no-equilibrio describe sistemas cuya dinámica es irreductible, exhibe propiedades que no pueden derivarse de las propiedades individuales de sus componentes. Se trata de aproximaciones más centradas en procesos y dinámicas fluctuantes que en “partículas fundamentales”. Como se puede ver, el “elemento irreductible” que aquí se postula no es ninguna entidad espiritual ni “sustancia pensante” (*res cogitans*) como decían los vitalistas. Se trata de una nueva vía de integración no-reduccionista entre física (termodinámica del no-equilibrio) y biología (de sistemas) que se aleja completamente de la comprensión de la “materia” como la *res extensa* cartesiana: presenta una realidad física activa, creativa, estocástica, impredecible, en la que el flujo de energía puede generar

¹² En el original, Schrödinger dice “entropía negativa” en vez de “energía disponible”.

sistemas autoorganizados, en la que la misma segunda ley de la termodinámica permite —bajo determinadas circunstancias— la evolución de sistemas en dirección de complejidad creciente.

2.1.1 Autopoiesis

Los seres vivos son sistemas disipativos. Requieren de un flujo constante de energía (y materiales) para mantenerse con vida. Sin embargo no todos los sistemas disipativos son seres vivos. ¿Qué es la vida? Una respuesta muy interesante se encuentra en el extraordinario libro *El Árbol del Conocimiento* (1984), de Humberto Maturana y Francisco Varela. También desde una perspectiva de sistemas, sugieren que lo que caracteriza a los seres vivos es su *organización*¹³, la cual tiene como resultado el hecho fundamental de que “se producen continuamente a sí mismos”, proceso al que denominaron “autopoiesis” (palabra derivada de las raíces griegas *auto*, propio o “a sí mismo” y *poiein*, composición, como en “poesía”). Un sistema autopoietico consiste en una red de componentes en interacción —el metabolismo del organismo— cuyo operar tiene como resultado la producción de todos aquellos componentes que la integran, algunos de los cuales constituyen un perímetro (a nivel celular: la membrana) que enmarca al sistema como unidad distinguiéndolo del medio circundante¹⁴.

¹³ En teoría de sistemas, la “organización” de un sistema se entiende como el conjunto de relaciones entre los componentes que tiene que existir para que ese sistema sea lo que es. Por ejemplo, para que algo pueda ser considerado una “silla”, deben cumplirse ciertas relaciones entre sus componentes (patas, asiento, respaldo) de manera que pueda cumplir la función de servir como asiento, pero tal organización puede realizarse de muchas maneras particulares, con muchos materiales distintos.

¹⁴ En general, los sistemas disipativos existen mientras existe la dinámica integradora que los genera: un tornado existe mientras existe una dinámica (sostenida por un gradiente de presión-temperatura) que integra incontables moléculas de aire-agua atmosféricos en una unidad coherente; las células de Bénard existen mientras se presentan ciertas relaciones específicas entre las moléculas que las componen (relaciones dinámicas sostenidas por un gradiente de temperatura). Pero a diferencia de un tornado o de las células de Bénard, los

En conjunto, los modelos teóricos de la autopoiesis, el metabolismo y los sistemas disipativos, nos sirven para describir las condiciones necesarias para el mantenimiento de la vida. Por un lado, para que un ser vivo se mantenga vivo, es necesario que mantenga un flujo de energía y materiales constante. La continua auto-producción y auto-reparación del organismo implica trabajo, para el cual es necesaria una continua disipación de energía. Esto implica que es necesario el acceso a una fuente relativamente constante de energía (para lo cual resulta crucial el almacenamiento metabólico de energía que permiten las moléculas de ATP, como veremos más adelante). Los modelos de metabolismo incluyen “mecanismos homeostáticos”, siendo la homeostasis un estado de equilibrio dinámico auto-regulado en el que el organismo busca mantenerse. Éste es un tipo de “equilibrio” muy distinto del equilibrio termodinámico: se trata de un estado estacionario, metaestable (ver Capítulo 1), alejado del equilibrio termodinámico, que mantiene sus parámetros dentro de ciertos márgenes gracias a la participación de mecanismos de autorregulación (*feedbacks* negativos). Si el organismo es incapaz de acceder a una fuente suficientemente constante de energía y materiales (del tipo específico necesario para su autopoiesis), o si es incapaz de mantener ciertos parámetros de su funcionamiento metabólico dentro de determinados márgenes (homeostasis), entrará en un proceso degenerativo que puede conducir a la muerte del organismo.

Por otro lado, es necesario que mantenga su organización como sistema autopoietico. Mientras que su *estructura* material se encuentra en un permanente intercambio de componentes (por ejemplo: nuestro epitelio intestinal se renueva cada cinco días, el hígado cada dos meses, la piel cada seis semanas, el 98% de los átomos de nuestro cuerpo se reemplaza cada año...), la *organización* debe mantenerse constante: mantener el conjunto de relaciones funcionales existente

sistemas autopoieticos no sólo organizan elementos preexistentes, sino que construyen sus propios componentes: una célula transforma la materia entrante —el alimento— en numerosos componentes —proteínas muy complejas, etc.— que no existían previamente. Las redes autocatalíticas de Morowitz se acercan mucho a la definición de sistema autopoietico, faltando solamente la auto-construcción de un límite o perímetro que las distinga como unidades discretas.

entre los componentes del sistema es lo que le permite continuar operando como una unidad de este tipo —sistema autopoietico—. En el momento en que dichas relaciones se interrumpen, el sistema perderá su capacidad de autopoiesis y se desintegrará en tanto unidad, se interrumpirá la dinámica integradora que le hace existir como un “sistema” —la muerte del organismo—.

Una vez muerto —perdida la dinámica que le mantenía en un estado metaestable alejado del equilibrio termodinámico— el organismo entra en un proceso de degradación que puede describirse como que va “hacia el equilibrio termodinámico”. Sin embargo, decir que “la muerte *equivale* al equilibrio termodinámico” es impreciso. Es verdad que dentro de un sistema en equilibrio termodinámico sería imposible la vida pero no es necesario encontrar estrictamente un equilibrio termodinámico para encontrar la muerte. El equilibrio termodinámico no es un estado que observemos fácilmente, es más bien un postulado teórico que sirve para definir la dirección en la que apunta la segunda ley; en cambio, la muerte y la ausencia de vida es algo que podemos observar fácilmente. Ahí donde veamos que un organismo muere, normalmente veremos a otros organismos (depredadores, carroñeros u hongos y microorganismos descomponedores) continuar disipando energía y reciclando materiales. Incluso en un planeta completamente muerto, como Marte, encontramos degradación de energía (como termodifusión en su superficie, calentada por el Sol), así que puede haber ausencia de vida aunque no haya equilibrio termodinámico. En el apartado anterior incluí una cita de Schrödinger en la que señala que la muerte es el estado de “entropía máxima”, lo cual sería inexacto por las mismas razones. De aquí se derivan algunas expresiones —a veces dichas muy a la ligera— como que “la entropía equivale a la muerte”, las cuales son ya de plano equivocadas. La disipación de energía es necesaria para la vida y, por lo tanto, la producción de entropía es necesaria para que un ser vivo se mantenga como tal. La vida no está “peleada con la entropía” ni “se opone” a ella. Más bien, está montada sobre ella, constituye una forma de aprovechar el flujo descrito por la segunda ley.

Con lo anterior obtenemos una caracterización operativa tanto de la vida como de la muerte en el marco de la segunda ley de la termodinámica y la teoría general

de sistemas. Podría decirse que son los fundamentos teóricos de una biología energética, una biología de sistemas, la termodinámica de la vida, etc. Estos modelos describen adecuadamente aspectos que son fundamentales para entender la vida (y la muerte), pero decir esto no implica que todo lo que pueda decirse sobre ellas se limite a lo que incluyen estos modelos. De hecho, nuestros modelos conceptuales nunca podrían describir todo lo que la vida es. La vida —como la realidad misma— permanece siempre inagotable e inabarcable, y ninguno de nuestros modelos teóricos puede aspirar a captarla de manera total. (Quienes estén familiarizados con la historia de la filosofía habrán notado elementos de una postura epistemológica kantiana en los planteamientos hasta aquí esbozados.)

Precursor de este tipo de pensamiento en biología, desde el siglo XVIII Immanuel Kant señalaba como cualidad fundamental de los seres vivos el hecho de que se producen a sí mismos, transformando una materia prima externa que les sirve de alimento. En el mismo tenor que la actual teoría de sistemas, Kant subrayaba el carácter holístico e irreducible de esta organización: el funcionamiento del sistema —la autoproducción del organismo— no es posible sin la participación concertada de todas las partes. Kant había notado correctamente que la función del organismo de producirse a sí mismo es posible gracias a la organización particular que existía entre sus múltiples componentes, de modo que las partes “se engendran mutuamente” y dependen recíprocamente unas de otras para su existencia y preservación, lo que obliga a tomar una perspectiva que va más allá de la estrategia analítica-atomista-reduccionista.

Kant decía que los seres vivos “son causa y efecto de sí mismos”, lo que los hace ser muy distintos a una máquina o un mero artefacto: no tienen un principio de organización externo en un ser inteligente que los produce, sino que lo tienen en sí mismos (Rosas 2008: 10). Maturana y Varela también subrayan la circularidad causal característica de la *auto-poiesis*. Al respecto, afirman que los sistemas autopoieticos se caracterizan por una autonomía fundamental: dado que se producen a sí mismos, especifican también “su propia legalidad”. Toda la fenomenología que podamos observar asociada a un organismo (lo que es posible

para él y lo que no lo es) es especificada por sus características estructurales particulares, las cuales son resultado de su propio operar. En este sentido, incluso la más “simple” de las bacterias está muy por encima de cualquier máquina o autómatas construido por los humanos. La más ingeniosa de las máquinas es pasiva en cuanto a que es producto de un diseñador externo y requerirá de éste para su mantenimiento y eventuales reparaciones (el ingeniero humano es, en este caso, quien invierte energía y concentra orden para mantenerlas funcionando). En cambio, los seres vivos —sistemas autopoieticos— se auto-construyen y auto-reparan continuamente, activamente, concentrando orden y manteniéndose alejados del equilibrio termodinámico mediante un intercambio permanente de materia y energía con el ambiente.

Como veíamos en el Capítulo 1, ya desde los sistemas disipativos no-vivos se caracterizan por tener organizaciones complejas, caracterizadas por relaciones no-lineales entre sus componentes, lo que inaugura un ámbito de indeterminación en su operar: su comportamiento no puede ser determinado por el medio ni por las condiciones iniciales, hay un ingrediente irreductible de impredecibilidad que marca su carácter estocástico. La irrupción del caos en nuestros modelos sobre el universo nos aleja de la visión del “mundo-máquina” absolutamente determinista, permitiendo ver a los seres vivos como entidades no-deterministas. Algo parecido es lo que Maturana y Varela quieren decir cuando afirman que todo ser vivo se caracteriza por una *autonomía* fundamental: al construirse a sí mismo, especifica la “legalidad” de su propio comportamiento, la organización de cada ser vivo determina la “fenomenología” de dicho organismo.

La aparición de unidades autopoieticas sobre la superficie de la Tierra marca un hito en la historia de este sistema solar [...] La formación de una unidad determina siempre una serie de fenómenos asociados a las características que la definen, lo que nos permite decir que cada clase de unidades especifica una *fenomenología* particular. Así, las unidades autopoieticas especifican la *fenomenología biológica* como la fenomenología propia de ellas con características distintas de la fenomenología física. Esto es así no porque las unidades autopoieticas violen ningún aspecto de la fenomenología física —ya

que al tener componentes moleculares deben satisfacer toda la legalidad física— sino porque los fenómenos que generan en su operar como unidades autopoieticas dependen de su organización y de cómo ésta se realiza, y no del carácter físico de sus componentes... (Maturana y Varela 1984: 32).

Las ideas de Kant parecen adelantadas a su época. Con base en la mecánica newtoniana, Kant era capaz de imaginar un universo físico en evolución, una visión de orden a partir del caos mediatizada por la fuerza de gravedad. Discutía interpretaciones “transformacionistas” en las que las diferentes especies podían ser derivadas de una “madre universal” —ancestro común—, aunque no podía imaginar ninguna manera en que los procesos meramente físicos pudieran engendrar a ese primer ser vivo hipotético. El tipo particular de orden —holístico, irreductible— que él encontraba en los seres vivos, no parecía poder explicarse sólo a través de las fuerzas mecánicas que gobiernan la materia inerte. Kant decía:

Denme materia y mostraré como puede originarse el mundo. Pues dada la materia dotada de una fuerza de atracción, no es difícil determinar las causas que contribuyeron a la formación de los cuerpos celestes. Se sabe lo que se necesita para que un cuerpo obtenga una forma esférica, para que las esferas que flotan libremente adopten un movimiento circular en torno a un punto que las atrae [...] todo puede explicarse por simples causas mecánicas [...] ¿Podemos acaso preciarnos de estas ventajas [explicativas] cuando se trata de plantas o insectos? ¿Podemos decir: denme materia y les mostraré como se origina una oruga? (Citado en Rosas 2008: 8)

Kant concluía que el tipo de orden exhibido por los seres vivos “no tiene nada analógico con ninguna causalidad que conozcamos” (Rosas 2008: 10). Se rehusaba a aceptar la explicación vitalista de asumir que había injerencia de elementos no-físicos (espirituales) para explicar la vida pero, a la vez, reconocía correctamente que los modelos de la mecánica newtoniana eran claramente insuficientes. Tuvieron que pasar dos siglos para que la termodinámica de sistemas alejados del equilibrio cubriera el vacío explicativo que Kant señalaba cuando sospechaba que la respuesta podría encontrarse en algún conjunto de

“leyes especiales de la naturaleza” que rigen el comportamiento de elementos especiales (como la luz o el estado líquido). Hoy en día, el abismo que parecía existir entre seres vivos y mecanismos newtonianos puede puentearse con los modelos de los sistemas disipativos, que ciertamente presentan algunas propiedades análogas a las de los seres vivos (mantener un alto nivel de organización, irreductible, holístico, a partir de importar energía y materiales del ambiente circundante). La visión sistémica-termodinámica de la vida aporta también elementos muy importantes para repensar temas fundamentales como el origen de la vida en el planeta, la evolución de la vida y la pregunta por la direccionalidad de la evolución. Pero antes de pasar a estos temas hay que subrayar dos características fundamentales de los seres vivos que los distinguen de los autómatas cartesianos —la facultad cognoscitiva y la intencionalidad—, dos propiedades que son incompatibles con la visión mecanicista del organismo y que parecen más comprensibles a partir de la teoría de la autopoiesis.

2.1.2. Facultad cognoscitiva

Tanto los modelos de sistemas disipativos como los de sistemas autopoéticos subrayan el hecho —que observamos a simple vista— de que el mantenimiento de la vida de todo organismo depende de una interacción finamente ajustada con su ambiente. Una de las aportaciones más fascinantes de Maturana y Varela es que, en su modelo, resulta evidente que dicha interacción organismo-ambiente para el mantenimiento de la autopoiesis es un proceso inherentemente *cognoscitivo*. Como dicen los autores —de manera aforística— *vivir es conocer*. Todo ser vivo se mantiene con vida mediante el ejercicio de esta facultad cognoscitiva. Identificar el proceso mismo de la vida —la autopoiesis— con la facultad de “conocer” el mundo tiene muchas revolucionarias implicaciones que nos alejan completamente del esquema cartesiano, el cual sigue más vigente de lo que puede parecer a primera vista. Algunas de estas implicaciones serán cruciales

para el argumento presentado en el Capítulo 3, por lo que será necesario detenernos aquí un poco para presentar las ideas básicas.

Decir que la facultad cognoscitiva no es una cualidad propia de entes inmateriales —almas racionales incorpóreas— no resulta una gran novedad en nuestra época, en la que el estudio del cerebro constituye una de las fronteras de la ciencia más fascinantes, tanto para investigadores especializados como para el público en general. Otra vez, sin negar los asombrosos avances de la neurociencia que, explorando en el nivel de la biología molecular, ha descrito los fascinantes mecanismos que permiten el funcionamiento de las neuronas —tomadas por algunos como los “átomos” de la cognición—, está claro que una comprensión integral de la facultad cognoscitiva requiere no sólo de una visión holística-sistémica del cerebro, sino de una comprensión del cerebro como parte del organismo en su totalidad. (Y, como veremos, para las especies animales de vida social, una visión completa de la cognición requiere de modelos que van más allá del organismo individual.)

Aunque muy pocas personas sostendrían hoy en día el postulado excepcionalista cartesiano en su tajante formulación original —en la que *sólo los humanos* participan de la *res cogitans*, sólo ellos exhiben la facultad cognoscitiva—, sigue siendo dominante una visión limitada de la cognición centrada en el cerebro tomando como modelo de referencia la forma particular de cognición que es propia de la especie humana. Esto conduce a un nuevo excepcionalismo (menos tajante) en el que pareciera que sólo los organismos con cerebro exhiben la facultad cognoscitiva. En el modelo de Maturana y Varela, el sistema autopoiético en su totalidad es el depositario de la facultad cognoscitiva, por lo que es propia de *todos* los seres vivos, sin excepción (aunque no tengan cerebro, incluyendo hasta el más simple de los microorganismos). Con lo anterior obtenemos una hermosa visión de continuidad entre la totalidad de los seres vivos que pasa por ampliar el concepto de “cognición”. Herederos de la idea cartesiana de “razón”, los modelos de cognición entendida como “inteligencia” continúan haciendo un énfasis excesivo en el uso del lenguaje y los conceptos para “representar” el mundo. Una visión ampliada de la cognición requiere de la

inclusión de elementos típicamente considerados “no racionales” como las emociones y sentimientos (piénsese en el papel de elementos como el dolor, el placer, el miedo o el deseo para orientar a un organismo en su ambiente), incluyendo hasta la más básica distinción sensorial que sea capaz de hacer un ser vivo para guiar su conducta¹⁵ en el mundo.

El hecho de que la cognición ya no se vea como la propiedad de una “sustancia pensante” incorpórea (*res cogitans*) no significa que el esquema dualista cartesiano esté superado. Muy al contrario, la discusión en ciencias cognitivas se encuentra en gran medida atrapada dentro de este esquema. El modelo del ser vivo como autómeta se ve actualizado en los modelos computacionales de la mente, que actualmente son dominantes. Se asume que la cognición es fundamentalmente “procesamiento de información”, sugiriendo una

¹⁵ La idea de “conducta” también debe ser ampliada. “Se llama conducta a los cambios de postura o posición de un ser vivo, que un observador describe como movimientos o acciones en relación con un ambiente determinado” (Maturana y Varela 1984: 92) Habitualmente vemos la conducta como algo propio de animales con sistema nervioso, asociando “conducta” con acciones tales como caminar, comer, etc., actividades que tienen que ver con el movimiento del organismo. Sin embargo, aquello que podemos observar como “movimiento” es relativo. Maturana y Varela presentan como ejemplo el caso de la *Sagitaria sagitufolia*, una planta que, cuando sube el nivel del agua y sus hojas quedan sumergidas, cambia de estructura luego de algunos días hacia una forma acuática, situación que es enteramente reversible involucrando transformaciones estructurales bastante complicadas. Éste es un ejemplo que podemos describir como conducta —cambios estructurales que se observan como respuesta a ciertos cambios en el ambiente—, sin embargo, normalmente lo describiríamos como cambios en el desarrollo de la planta, simplemente porque los cambios son demasiado lentos como para que nosotros —observadores con ciertas características particulares— podamos percibirlos a simple vista como “movimiento”. Maturana y Varela comparan este caso con la conducta alimentaria de una ameba. Cuando dicho organismo entra en contacto con un protozoo, ciertos cambios en la constitución físicoquímica local de la membrana celular de la ameba inducirán que el protoplasma fluya en ciertos puntos de manera tal que observamos a la ameba engullendo al protozoo. A diferencia de lo que ocurre con la *Sagitaria*, nadie dudaría en describir esta serie de cambios estructurales como conducta. Resulta claro que hay una continuidad entre ambos ejemplos; la única diferencia sería la lentitud del cambio estructural en el caso de la *sagitaria*, lo que nos hace ver su conducta como un “cambio de forma” en vez de como comportamiento (Maturana y Varela 1984: 97-98). Resulta más adecuado entender “conducta” como nuestra descripción de la manera en que un ser vivo se *conduce* en el mundo.

analogía entre el operar de los cerebros y el de las computadoras (los “autómatas” que fascinan al público de nuestra época). La metáfora de la cognición como procesamiento de información es de aplicabilidad limitada, lo cual no significa que sea completamente inútil, pero debemos cuidarnos de pensar que los organismos son *de hecho* computadoras hechas de materia orgánica, pues muchos investigadores parecen creer que no se trata de una analogía sino de una descripción literal. Para que una computadora funcione, información pre-codificada por los ingenieros y operadores humanos debe ser *ingresada* al sistema (mediante un teclado alfanumérico, por ejemplo, o algún otro lector de códigos predefinidos). A continuación, el sistema debe “computar” dicha información de manera bastante pasiva, siguiendo el algoritmo que los programadores humanos hayan especificado para él. Es evidente que el operar de una computadora está fuertemente exo-determinado: la legalidad que define el funcionamiento tanto de su *hardware* como de su *software* ha sido determinada por un agente externo, y la información que utiliza para trabajar también ha sido pre-codificada por un agente externo.

En el plano cognoscitivo, la autonomía fundamental de los seres vivos también les hace muy distintos de las máquinas. Así como la organización particular de un organismo define su estructura material (componentes físicos y las relaciones funcionales entre ellos) y define también su operar (reacciones bioquímicas y procesos metabólicos que le permiten auto-construirse continuamente), la organización también define el modo en que el organismo interactúa con su ambiente. La forma física de un organismo particular especifica cuáles elementos del ambiente serán relevantes para el organismo y cuáles no, y especifica el abanico de conductas posibles con las que el organismo puede reaccionar ante tales elementos: algunos seres vivos serán sensibles a ciertos elementos del medio y a otros no, y distintos organismos reaccionarán de maneras distintas ante ellos. En su búsqueda de polen, las abejas pueden percibir los rayos ultravioleta reflejados por las flores, una parte del espectro visible a la que nosotros no somos sensibles; en cambio otros animales pueden no depender de la sensibilidad a la luz y orientarse en la total oscuridad por medio del olfato, el oído, el tacto, la

sensibilidad a campos magnéticos, etc. El “mundo” aparecerá de formas distintas para cada tipo de organismo, dependiendo de su forma física particular (organización). Lo anterior sienta las bases para una “epistemología biocéntrica”, en la que podemos suponer que hay una realidad independiente al observador (realismo ontológico) pero, no obstante, toda “realidad experiencial” es relativa a la naturaleza del observador (relativismo epistemológico). Entender que el observador es fundamentalmente un ser vivo y no un “alma incorpórea” es lo que permite anclar nuevamente una epistemología relativista dentro del mundo físico-biológico.

Resulta fundamental entender que, en el modelo de Maturana y Varela, el ambiente *no determina* el comportamiento de los seres vivos: dependiendo de la organización de un organismo, éste reaccionará de maneras distintas ante un mismo “estímulo” ambiental. Los modelos de estímulo-respuesta (como los que manejaba Iván Pavlov bajo el esquema teórico del conductismo) que intentaron reducir el comportamiento de un organismo a relaciones deterministas causa-efecto —tratando a los seres vivos como si se tratara de autómatas cartesianos que responden mecánicamente ante los estímulos externos— son insuficientes para explicar la compleja conducta de los seres vivos. Uno puede saber perfectamente lo que sucederá con un autómata cuando demos vuelta a la manivela, simulará tocar el piano repitiendo movimientos linealmente determinados. Muy al contrario de lo que quería demostrar Malebranche, la situación con un ser vivo es muy distinta: los perros no responden siempre igual ante un mismo estímulo. Para separarse de este tipo de modelos, en vez de hablar de “estímulos” que “generan” respuestas, Maturana y Varela prefieren hablar de “perturbaciones” que “gatillan” respuestas conductuales, subrayando con ello que es la organización del propio sistema la que determina el tipo de respuesta desencadenada por el estímulo (la organización del sistema define desde cuáles elementos del medio serán “perturbaciones” para el organismo y cuáles no). La metáfora del “gatillo” es adecuada en tanto que los procesos que se desencadenan al activar el gatillo no son especificados por el dedo que aprieta, sino por el mecanismo del aparato en cuestión (sea un revólver, una engrapadora,

un lector de códigos de barras, etc.). “En estas interacciones, [...] el medio sólo gatilla los cambios estructurales de las unidades autopoieticas (no los determina ni instruye)” (Maturana y Varela 1984: 50). Dependiendo de las proteínas particulares que formen parte de la membrana de un organismo unicelular en específico —por ejemplo—, ciertas sustancias del ambiente desencadenarán (o no) ciertos procesos metabólicos/conductuales.

Si una célula interactúa con una molécula X incorporándola a sus procesos, lo que ocurre a consecuencia de dicha interacción no está determinado por las propiedades de la molécula X, sino en la manera como tal molécula es “vista” o tomada por la célula al incorporarla en su dinámica autopoietica. Los cambios que ocurran en ella a consecuencia de esa interacción van a ser aquellos determinados por su propia estructura como unidad celular. (Maturana y Varela 1984: 32)

Ahora bien, decir que un organismo es autónomo frente al medio y que no está determinado por éste, y que al construirse a sí mismo construye activamente la legalidad de su propia fenomenología así como su propio mundo experiencial, no significa decir que los organismos existen desvinculados del ambiente, no significa que sean independientes de éste ni que puedan construir “a voluntad” su propia realidad, de manera arbitraria, como si flotaran en el vacío. Durante su vida individual todo organismo atraviesa una serie de cambios estructurales que reflejan su historia de interacciones con el ambiente. Organismo y ambiente pueden observarse ambos como sistemas autónomos, el operar de cada uno está especificado por su propia organización y estructura. La interacción entre ambos, entonces, debe entenderse como un intercambio bidireccional de perturbaciones, gatillando mutuamente —pero no determinando— cambios estructurales recíprocos. Para mantenerse vivo —para mantener su autopoiesis— los cambios estructurales atravesados por el organismo deben mantener una congruencia con los cambios ocurridos en su ambiente, congruencia sin la cual el mantenimiento de la autopoiesis se interrumpirá. A este mantenimiento dinámico de congruencia,

Maturana y Varela se refieren como “acoplamiento estructural” entre el organismo y su medio.

Imaginemos una bacteria de metabolismo fermentativo. El mantenimiento de su vida depende del acceso continuo a ciertos tipos de azúcares, para lo cual está equipada con superficies sensibles a los cambios de concentración de azúcar en su ambiente, cambios a los que responde con diferentes tipos de conducta: cuenta con un flagelo capaz de rotar sobre su base de manera que funciona como una hélice propulsora para la bacteria. El flagelo puede girar en dos sentidos, con diferentes resultados: en el primer caso, los giros resultarán en un desplazamiento neto de la bacteria, en el segundo caso, los giros harán que la bacteria gire en el mismo lugar. Es posible observar estas bacterias con un microscopio y registrar su comportamiento en distintas situaciones controladas. Supongamos que tenemos a una de ellas en un medio acuoso homogéneo, y posteriormente colocamos un grano de azúcar en una esquina del contenedor: observaremos que la bacteria cambia su comportamiento de dar giros sobre sí misma y se dirigirá hacia la zona de mayor concentración de azúcar. Si este organismo es capaz de realizar cambios estructurales de manera congruente con la estructura de su ambiente, se dirigirá efectivamente hacia la zona en donde encontrará las fuentes de materia/energía que requiere para el mantenimiento de su vida: el mantenimiento de la autopoiesis depende del acoplamiento estructural del organismo y su medio¹⁶. Si el organismo fallara en realizar estos cambios estructurales de manera congruente, le observaremos permanecer dando vueltas en un área de baja concentración de azúcar, o incluso moverse en dirección contraria a donde hemos colocado el grano de azúcar, lo que eventualmente puede conducir a la muerte por inanición: la incapacidad de mantener el acoplamiento estructural con el medio tiende a conducir hacia la interrupción de la autopoiesis. De este modo, podemos ver que el estado presente de cualquier organismo vivo —un organismo que hasta este momento ha logrado mantener la continuidad de su autopoiesis— es el resultado de una historia ontogenética de transformaciones estructurales

¹⁶ Alfred Lotka hace un análisis muy parecido en *Elements of Physical Biology* (1925, Chapter XXV)

congruentes con su medio (acoplamiento estructural), transformaciones que como observadores externos describiremos como conductas *adaptativas* que reflejan un conocimiento *adecuado* de su ambiente.

El modelo teórico de Maturana y Varela —que comparte ideas fundamentales con una propuesta epistemológica de Ludwig von Bertalanffy (1976, Capítulo X)— permite superar efectivamente la visión decimonónica según la cual el conocimiento constituye una simple interiorización de las características del mundo, creando una “representación” interior de una realidad exterior cuyas características están *dadas* de antemano. Esta visión —que constituyó el fundamento epistemológico de la ciencia moderna clásica— resulta demasiado ingenua, simplista y es, en última instancia, insostenible por una serie de razones (algunas de las cuales fueron expuestas en el Capítulo 1 y otras más que se revisarán más adelante). Por lo pronto digamos solamente que el mundo experiencial de cada ser vivo es relativo a su propia estructura y organización, es una construcción *activa* y no constituye un simple reflejo *pasivo* o interiorización de las características “objetivas” del mundo. En el modelo básico de Maturana y Varela, el organismo no hace representaciones, lo que hace es mantener su acoplamiento estructural.

Actualmente, el representacionismo en ciencias cognitivas va de la mano del paradigma computacional. La idea misma de representación se aleja más y más de aquello que experimentamos internamente como una representación del mundo exterior, convirtiéndose en un mero formalismo que no requiere experiencia subjetiva para operar, algo análogo a la serie de unos y ceros del código binario (la información precodificada que se ingresa al sistema) en el funcionamiento de una computadora. No sorprende que, bajo el paradigma computacional, reconocidos autores de ciencia cognitiva y filosofía de la mente excluyan por completo de sus modelos toda referencia a la experiencia subjetiva, al mundo experiencial vivido por los organismos, considerándolo, si acaso, un efecto curioso sin importancia, un epifenómeno sin ningún poder causal. De esta manera, pretenden simplemente eliminar toda referencia a las experiencias mentales en sus explicaciones sobre la mente, una solución bastante extraña si se

piensa que es como eliminar de los modelos explicativos aquello que se quería explicar. Esto se debe a que, en el fondo, al tratar de reducir la cognición a un fenómeno mecánico —propio de la *res extensa*—, no hay manera de que sus modelos den cuenta de la experiencia subjetiva —que les sigue pareciendo algo ajeno a la realidad física—. Los esfuerzos de construcción teórica topan nuevamente con el abismo cartesiano. Resulta una mejor estrategia iniciar una nueva construcción en un terreno unificado.

En vez de hablar de dos dominios ontológicos irremediadamente separados e incluso opuestos entre sí —como son la *res cogitans* y la *res extensa*—, el trabajo de Maturana y Varela permite observarlos como dos perspectivas, distintas pero complementarias, con las que, como observadores, podemos describir la facultad de conocimiento (siguiendo, nuevamente, una estrategia kantiana). Por un lado, el modelo de la cognición como acoplamiento estructural —desarrollado originalmente por Maturana— permite entender de manera muy precisa lo que significa una interacción cognoscitiva entre el sistema y su medio ambiente. Se trata de una descripción del proceso cognoscitivo en “tercera persona”, es decir, la descripción que puede hacer un observador externo sobre el operar de una unidad cognoscitiva¹⁷. (Por ejemplo: un enunciado en tercera persona sería “el organismo reacciona ante X estímulo en su ambiente”.) Por otro lado, en trabajos posteriores, Francisco Varela exploró las maneras en que podemos correlacionar las descripciones en tercera persona (abundantes en el ámbito de las ciencias cognitivas) con descripciones en primera persona, es decir, aquellas con las que modelamos nuestra propia experiencia como sujetos cognoscentes. (Un enunciado en primera persona sería “yo percibo X estímulo en mi ambiente”.) En *The embodied mind* (1991), Varela, Thompson y Rosch toman inspiración del filósofo francés Maurice Merleau-Ponty para decir que es necesario que veamos

¹⁷ Maturana defiende la utilidad de los modelos teóricos que ven al organismo en términos de mecanismos (aunque, como ya dije, hablar de sistemas implica una perspectiva holística contraria al atomismo del mecanicismo reduccionista), pero se cuida mucho de no caer en la trampa de creer que los organismos *son* mecanismos, siendo muy consciente de que se trata sólo de *modelos conceptuales* con los que buscamos representar algunas de sus dinámicas operacionales.

nuestros cuerpos al mismo tiempo como estructuras físicas y como estructuras experiencialmente “vivas” [*lived, experiential structures*]; al mismo tiempo biológicas y fenomenológicas. Sostienen que es necesario construir un marco de referencia en el que ambas perspectivas —la “externalista” y la “internalista”— dejen de verse como opuestas sino como mutuamente complementarias. La corporeidad de la facultad cognoscitiva [*the embodiment of knowledge*] sería el eje que conecta ambas perspectivas, permitiéndonos estudiar la cognición en términos del operar de un sistema (tercera persona) así como en términos de la experiencia subjetiva de un organismo (primera persona)¹⁸.

De acuerdo con lo anterior, si la cognición es inherente a todo ser vivo (sistema autopoiético), y la cognición puede también entenderse en términos de experiencia subjetiva, tenemos bases para decir que todo ser vivo es un *sujeto* cognoscente. El trabajo de Maturana y Varela sienta las bases para una ciencia cognitiva distinta, que no sólo incluye la experiencia subjetiva de los seres vivos, sino que también permite entender mejor la experiencia subjetiva de la libertad, (experiencia que también puede modelarse en tercera persona en términos de autonomía operacional). Al abrir la posibilidad de concebir a los seres vivos como sujetos cognoscentes que toman decisiones (autónomamente), el contraste con la visión cartesiana de los “autómatas sin alma” resulta total.

¹⁸ Con esto, de hecho estaríamos retomando el doble programa de investigación que proponía Descartes, el cual incluía no sólo la ciencia externalista (que estudia el mundo con base en la evidencia que podemos obtener a través de los sentidos) sino también una ciencia internalista (que emplea la introspección y la reflexión, vía por la cual encontró el principio fundacional de su sistema filosófico, el célebre *cogito ergo sum*). El problema fue que, al separar ambos proyectos como pertenecientes a dominios ontológicos irremediabilmente separados entre sí, la vía externalista y la vía internalista se volvieron irreconciliables y se inició una guerra en la que ambos bandos trataban de reducirse uno al otro, venciendo finalmente el materialismo, estableciéndose como (supuestamente) la única vía aceptable para la ciencia.

2.1.3. Intencionalidad

Una de las primeras cosas que se notan al observar la diversidad de los seres vivos en sus ambientes naturales es que muchas de las cosas que hacen les sirven *para* mantenerse con vida y/o *para* reproducirse. Por ejemplo, podemos observar un ave construyendo un nido con todas sus delicadas características, el tiempo y el lugar en el que lo construye, la cuidadosa colocación del huevo, la diversidad de conductas que lleva a cabo para protegerlo o mantenerlo a cierta temperatura, todo ello bajo circunstancias precisas, para dar lugar a una nueva ave... Poca duda cabe de que todas estas conductas tienen una función pero, bajo el paradigma mecanicista, muchos biólogos parecen sentirse obligados a decir que “se realizan sin un fin en mente”, que son instintivas, automáticas.

Técnicamente hablando, explicar un fenómeno con referencia a un propósito o una intención es lo que se llama una explicación teleológica (del griego *telos*, propósito). Es un tipo de explicación muy común pero entre los biólogos modernos encontramos típicamente un decidido esfuerzo para eliminarlos de la explicación científica de la vida. Buscan excluir todo tipo de intencionalidad de sus descripciones pensando que para que una explicación “sea científica” tiene que explicarlo todo como mecanismos ciegos y exo-determinados. Para algunos de ellos, decir que una explicación es teleológica prácticamente significa que automáticamente es inválida, ingenua y hasta irracional. Se trata de una discusión larga que deberemos revisar con cierto detalle. En este apartado me concentraré en lo que implica aceptar o rechazar las explicaciones teleológicas al nivel de la conducta de un organismo. En un apartado posterior revisaré la discusión sobre la teleología al nivel de la evolución de las especies.

Conviene comenzar aclarando qué se entiende por “explicación”. Una explicación es un modelo conceptual en el que se describe la ocurrencia de algún fenómeno *a partir de ciertas causas*. Aristóteles —quien sostenía que el saber verdadero consistía en el conocimiento de las causas— planteó la primera sistematización conocida de los tipos de “causas” que habían sido utilizadas por las distintas escuelas filosóficas griegas, y hasta la fecha no se han agregado

nuevos tipos. Aunque Aristóteles hablaba de las causas de las cosas y la ciencia moderna más bien busca las causas de *sucesos* o *procesos*, su famoso modelo de los cuatro tipos de causas definió el terreno sobre el que se desarrollaría esta milenaria discusión. En primer lugar tenemos las causas materiales, que corresponden al tipo de investigación que resulta al preguntarnos: ¿de qué está hecho X objeto? o ¿cuáles son las características de la *sustancia* involucrada en X fenómeno? Este tipo de preguntas condujeron a los filósofos griegos a distintos planteamientos sobre los elementos constituyentes de la realidad, entre los que se cuenta el atomismo de Leucipo y Demócrito. En segundo lugar, tenemos las causas eficientes (o motrices), que responden a un tipo de preguntas como: ¿qué acción, fuerza o movimiento fue la causa de este fenómeno? Una respuesta interesante era la de Empédocles, quien postulaba el Amor y el Odio como las fuerzas físicas de atracción y repulsión que gobernaban el agrupamiento o la dispersión de los elementos. Luego tenemos las causas formales, que describen el modo en que los patrones de organización de la materia —las formas— determinan las propiedades de un objeto o la ocurrencia de ciertos fenómenos. De ahí planteamientos como el del “mundo de las ideas” platónico, en donde existían las formas eternas e inmutables que eran la causa de las cosas pasajeras de este mundo. Se trataba de esencias abstractas separadas de las entidades concretas que formaban. Finalmente, las causas finales corresponden a las preguntas: ¿para qué existe X cosa? o ¿con qué finalidad ocurre X fenómeno? Éstas son las explicaciones finalistas o teleológicas, porque explican la cosa o el fenómeno con referencia a una finalidad o propósito.

Para saltar directamente al punto que aquí interesa, pongamos el cuadro de las cuatro causas sobre la base de la cosmología dualista cartesiana: las causas materiales y eficientes corresponderían al mundo físico, las causas formales y finales al mundo espiritual. Con esto, ya podemos hacernos una idea de lo que ocurrió con estos dos pares de causas. Veamos. Descartes y Newton afirmaban precisamente que lo que conforma la *res extensa* es nada más que “extensión” y movimiento. Tenemos entonces a la materia (típicamente definida como todo cuerpo que ocupa un volumen o extensión en el espacio, cuyas unidades mínimas

serían los átomos) y tenemos a las fuerzas que le imprimen movimiento (la fuerza de gravedad y, especialmente, el choque de unas partículas con otras). En efecto, la explicación del movimiento como resultado de la colisión de un cuerpo con otro (en donde el cuerpo A imprime un movimiento sobre el cuerpo B en función de las respectivas masas y velocidades, en una dinámica perfectamente predecible y matematizable) se convertiría en el modelo por excelencia de las relaciones lineales de causa y efecto, centrales en la explicación mecanicista del mundo. Desde la Edad Media, las causas formales y finales habían sido vinculadas con la idea judeocristiana de un Dios Creador exterior al mundo físico. Las formas puras de Platón —las esencias abstractas, perfectas, eternas e inmutables que daban forma al mundo físico— fueron entendidas como ideas en la mente de Dios. De igual manera, en última instancia, las causas finales del mundo se encontrarían en el propósito por el cual Dios creó al mundo (una explicación teleológica). Desde esta visión teísta, el mundo espiritual tiene supremacía sobre el mundo físico: Dios creó al mundo por lo que, a fin de cuentas, todas las causas materiales y eficientes provienen originalmente del diseño y la voluntad divina.

Ni Newton ni Descartes negaban la existencia de Dios ni del mundo espiritual. Sin embargo, el modelo del universo físico como un gran mecanismo de relojería implicaba precisamente que no era necesaria la intervención continua de Dios para mantener en orden al cosmos: en el séptimo día Dios descansó. Una vez creadas tanto las piezas como las leyes de su funcionamiento, habría echado a andar el Universo en el principio de los tiempos como un relojero echa a andar un reloj, el cual continúa moviéndose por sí solo de manera precisa y ordenada de acuerdo con el diseño y la intención del relojero.

Conforme la mentalidad científica moderna avanzó hacia el positivismo (doctrina que sólo consideraba como conocimiento verdadero aquel que se sustenta en datos “positivos”, es decir empíricos o experimentales) y el materialismo ateo, ya no sólo resultaba inválido proponer la injerencia de elementos inmateriales para explicar fenómenos correspondientes al mundo material, sino que ahora resultaba un sinsentido pretender hablar científicamente de cualquier cosa que no pudiera ser palpada, medida o comprobada mediante

experimentación. La relación entre las causas quedó invertida: se asumió que, en última instancia, todas las explicaciones en términos de causas formales y finales podrían reducirse a explicaciones científicas en términos de causas materiales y eficientes: todo aquello que parecía ser resultado de la influencia de elementos inmateriales sería finalmente explicado en términos mecanicistas. Con el avance de la ciencia, todo se reduciría a relaciones de causa-efecto lineal. Con el argumento de que las causas deben anteceder a los efectos, la idea de una “causa final” les parece absurda: no hay manera en que el *resultado* final de un proceso sea la *causa* del mismo. No existe nada más allá del mundo material, por lo tanto, no se necesita nada más que explicaciones en términos de causas materiales y eficientes. La física era la ciencia por excelencia, con la mecánica newtoniana había logrado consolidarse plenamente, por lo que el resto de las ciencias debía seguir su ejemplo si aspiraban a alcanzar algún día un grado de solidez semejante. La biología, en cambio, era considerada una ciencia inmadura porque utilizaba explicaciones funcionales y teleológicas, las cuales deberían ser erradicadas. (Marcos s/f: 21)

Los argumentos que he presentado mostrando las limitaciones del enfoque reduccionista-atomístico señalando la necesidad de un enfoque holístico (que estudie las relaciones, los patrones, la organización, etc.) son argumentos en defensa de un renovado programa de investigación en términos de causas formales, pero ahora asumiendo que es la propia realidad física la que se auto-organiza (bajo condiciones específicas) sin que esto sea inducido por esencias inmutables o absolutas desde el Topus Uranus o la mente de Dios. De manera similar, presentaré argumentos en defensa de modelos que consideran también causas finales sin que esto implique la participación de entidades inmateriales o externas a la realidad física. Claro que esta “realidad física” no se parece ya en nada a la *res extensa* cartesiana. Mientras los biólogos se congratulaban por estar logrando que su ciencia se acercara a la física newtoniana, los físicos del siglo XX se vieron obligados a abandonar, uno por uno, los presupuestos básicos que sostenían su visión del mundo. Mientras los primeros forzaban a su objeto de estudio —el organismo— dentro de los rígidos moldes de la física clásica, la

materia misma —el objeto de estudio de los segundos— se escapaba irremediabilmente de dichos moldes. Las reglas del juego han cambiado, ya no tiene sentido utilizar la física clásica para justificar una concepción mecanicista de la vida.

En su libro *¿Qué es la vida?*, que retoma explícitamente no sólo el título sino los planteamientos teóricos de Schrödinger, Lynn Margulis y Dorion Sagan señalan que:

Algunos científicos han comenzado a interpretar la predilección de la segunda ley por la energía calorífica como la base de la acción aparentemente intencional. El científico norteamericano Rod Swenson ha argumentado que la aparente intencionalidad que se manifiesta en la tendencia del calor a disiparse con el tiempo está íntimamente relacionada con el empeño que ponen las formas de vida en perpetuarse a sí mismas. La visión de Swenson muestra cómo se relaciona la aparente intencionalidad de la vida —su comportamiento orientado hacia un fin, lo que los filósofos llaman teleología— con el comportamiento del calor. Los científicos tienen como norma no admitir la teleología. Se considera acientífica, una reminiscencia del animismo primitivo. [...] [Pero no] deberíamos asumir que sólo los humanos tenemos un comportamiento orientado al futuro. Nuestro propio frenético afán de sobrevivir y prosperar (y el del resto de la vida) podría ser una forma especial de organización que el universo ha adoptado desde hace 4000 millones de años “para” obedecer la segunda ley de la termodinámica. (Margulis y Sagan 2009: 23)

En términos generales comparto el planteamiento sugerido en este párrafo, pero es necesario hacer algunas precisiones. Hablar de una “predilección de la segunda ley por la energía calorífica” o de una “aparente *intencionalidad* que se manifiesta en la tendencia del calor a disiparse con el tiempo” es demasiado vago y ambiguo. S. N. Salthe (2010) introduce una triple distinción que ayuda a clarificar esta cuestión. Para incluir la ley de la maximización de la entropía como un caso de explicación finalista, Salthe propone distinguir entre tres tipos de explicaciones

finalistas: tenemos descripciones que involucran un *propósito* (las cuales hacen referencia a un *sujeto* intencional), tenemos descripciones que involucran una *función* (las cuales refieren a un *sistema* dentro del cual la función tiene sentido) y tenemos descripciones que involucran una *tendencia* o *propensión*, las cuales no necesariamente implican ni una función ni un propósito. Nótese que, en los tres casos, tenemos descripciones que apuntan hacia un estado final [*end directed*] y podemos explicar un fenómeno con base en esta direccionalidad. Sin embargo, las implicaciones de cada una son distintas.

En efecto —contrariamente a lo que piensan muchos biólogos en cuanto a que los físicos no utilizan explicaciones finalistas— la ley de la maximización de la entropía (o de minimización de la energía libre), así como la ley de la minimización de la energía potencial gravitacional (con su correspondiente maximización de la energía cinética), e incluso los “atractores” descritos en dinámica no-lineal, son todos ellos modelos físicos de tendencias o propensiones que apuntan hacia un cierto estado final, en el que alguna de las variables alcanza un valor mínimo o máximo. Metafóricamente hablando podemos decir que, de algún modo, un sistema “busca” llegar a cierto estado final o que alguna variable (por ejemplo la entropía) “busca” alcanzar su valor máximo (o mínimo), pero ello no implica necesariamente que los físicos atribuyan literalmente una intencionalidad o un propósito (con relación a algún sujeto, que en este caso tendría que ser o un Dios creador externo o aceptar que el universo en sí mismo puede tener intenciones o propósitos). Los físicos tampoco postulan necesariamente una función para explicar la tendencia de los cuerpos a “atraerse” gravitatoriamente (curvando el espacio-tiempo) o a la tendencia de la energía a disiparse hacia formas más degradadas (el aumento de la entropía). No obstante, podemos clasificar formalmente estos modelos como finalistas (orientados hacia un estado final). Tanto la ley de la gravitación universal como la segunda ley de la termodinámica describen tendencias generales que *pueden ser* aprovechadas por ciertos sistemas para realizar trabajo, con lo que dichas tendencias pasan a cumplir una “función” con relación a cierto sistema. Y para decir que ese trabajo cumple un “propósito”, debemos aceptar que responde a la intención de algún sujeto.

Con respecto a la idea de “función”, hay que notar que ella tiene sentido sólo al describir el operar de algún sistema: en el momento en que decimos que algo “tiene una función” es porque lo conectamos funcionalmente con otra cosa, con lo cual podemos decir que ambas cosas “forman un sistema”. Como se explica en el Capítulo 1, la idea de “sistema” se aplica mejor cuando existe alguna propiedad integradora que nos permite identificar ciertos elementos como partes constituyentes de un sistema. En el caso de los sistemas disipativos, la propiedad integradora es una dinámica que surge como resultado del flujo de la energía. Podemos decir que “el sistema existe” mientras existe esa dinámica disipativa, cuya existencia depende de que el flujo de energía que la sostiene sea suficientemente constante y de que las relaciones entre los componentes del sistema se mantengan dentro de ciertos parámetros. Por ejemplo: un tornado existe mientras exista un gradiente térmico y de presión atmosférica que fluye ordenadamente a través de él y mientras no tope con elementos geográficos como montañas que hagan que las relaciones entre sus partes no puedan continuar. Pues bien, en este punto, es perfectamente válido decir tanto que la dinámica en conjunto como sus componentes (elementos materiales o relaciones internas que en nuestros modelos conceptuales podamos distinguir) tienen una *función*. Si x elemento o relación no participa en el conjunto de un modo específico, el conjunto no podrá funcionar de la misma manera y el sistema posiblemente se desintegre. En este caso, la función está definida con respecto al objetivo de “mantener al sistema existiendo”.

Algo similar sucede con la noción física de “trabajo”. Ésta también es finalista, pues implica la utilización de energía para un cierto propósito con referencia a algún sistema particular. En los motores de Carnot, se considera trabajo a la energía que se logra convertir en el tipo de movimiento que interesa según las metas planteadas; la energía que no se logra convertir en ese tipo particular de movimiento, se considera la pérdida entrópica. (En este sentido, la medida de la eficiencia energética del trabajo también es finalista.) Hay que notar que somos nosotros como observadores quienes, para comprender mejor la dinámica del sistema, postulamos una finalidad como referencia: usualmente llamamos “trabajo”

a la utilización de energía para *nuestros* objetivos (o para los objetivos de algún sujeto reconocible). Con fines menos prácticos se puede utilizar la idea de trabajo sin referencia a nuestros propios objetivos, pero para hacerlo tendremos que postular algún objetivo. Decir que la energía que el sistema logra canalizar para el mantenimiento de su estructura es “trabajo”, implicaría postular el mantenimiento de su existencia como objetivo o propósito de algún sujeto. Los procesos de *autoorganización* en efecto *parecen* expresar una intencionalidad *propia*, pues es la materia misma la que se organiza, espontánea y creativamente, y a partir de la organización irreductible del sistema resultante, podemos describir los elementos como teniendo una “función” (para la que no hubo un diseñador externo). Es por esta razón que la teoría de los sistemas disipativos no encaja dentro del esquema de la res extensa cartesiana, pues en ésta última, incluso el movimiento (ya no digamos la función o la organización) es resultado de un agente externo (espiritual). Sin embargo, con el objetivo de clarificar el uso riguroso de los términos, propongo que, en el caso de sistemas disipativos no-vivos, decir que el sistema “quiere” seguir existiendo sea considerado metafórico en tanto que los consideramos no-vivos.

En el caso de las células de Bénard, por ejemplo, está claro que quienes “quieren” que ellas sigan existiendo son los investigadores que se deleitan con su orden y los profesores que las muestran a sus alumnos. No obstante, postular el mantenimiento de su estructura como fin nos permite hacer un modelo conceptual en el que se definen las condiciones precisas que se requieren para que las células existan. En el caso del tornado la cuestión de las perspectivas se hace más notoria: es un hecho que al agrupar una cantidad descomunal de moléculas de aire y agua atmosféricos en una estructura ordenada que puede abarcar kilómetros a la redonda, el flujo de energía está creando “orden”. Podríamos hablar de “trabajo” si planteamos el mantenimiento de *ese tipo* de orden como fin, sin embargo, dado que los tornados frecuentemente atentan contra nuestros propios intereses, difícilmente diremos que la poderosa reestructuración del ambiente que dejan tras de sí es resultado de “trabajo” (a menos de que dijéramos

que el tornado fue generado o direccionado *intencionalmente*, si tal cosa fuera posible, como “arma climática” para arrasarlo territorio enemigo, por ejemplo).

Del mismo modo, la definición de “sistema autopoiético” ha sido definida con respecto a un fin: la producción continua de los componentes del propio sistema. Bajo esta definición, parecería que cada proceso y elemento que podemos distinguir como parte del sistema lo será en función de que de alguna manera contribuya a tal propósito. De toda la energía que atraviesa el sistema, diremos que aquella aprovechada como “trabajo” es la que logra ser canalizada para aquellos procesos que contribuyen a este propósito (la energía que se escape en el proceso será la pérdida entrópica, y la proporción entre ambas será la eficiencia energética)¹⁹. En términos llanos, la idea de autopoiesis plantea que el organismo tiene, como cualidad básica, un funcionamiento dirigido al mantenimiento de su propia vida. Evidentemente, entre la variedad de organismos, algunos lograrán mayor eficiencia en relación con dicho fin, otros podrán incluir algunos elementos disonantes e incluso contraproducentes hasta cierto punto. Es fácil pensar como, por selección natural, tendremos cada vez más de aquellos que muestren mayor coherencia interna con respecto al fin de mantenerse con vida. ¿Podemos decir que los seres vivos tienen la intención o el propósito de mantenerse con vida? Si nos empeñamos en ver a los organismos como autómatas cartesianos, evidentemente tendremos que responder que no. Para defender esta postura, algunos han recurrido a distinguir entre teleología y “teleonomía”. Como narra Henri Atlan:

¹⁹ Algo semejante es propuesto por Kauffman, quien se refiere a los organismos como “agentes autónomos”:

An autonomous agent is defined as a reproducing system that carries out at least one thermodynamic work cycle. So, the notion of agency is directly related with the notion of thermodynamic disequilibrium: An agent manifests agency because it is able to generate work (Herrmann-Pillath 2013: 118).

En ese sentido, Herrmann-Pillath señala que “Evolution consists of the emergence of systems that transform energy into work related to their reproduction” (2013: 119).

Littendrigh fue el primero, en los años cincuenta, en utilizar la palabra “teleonomía” para sustituir teleología sabiendo que no había ninguna diferencia entre los significados literales de ambas palabras; había propuesto una palabra nueva para recalcar la diferencia entre lo que él expresó como una “máquina buscadora del fin” o “proceso buscador del fin”, y otra u otro con un verdadero propósito [intencional, consciente] [...] Se suponía que la teleonomía trataba de describir un proceso buscador del fin, y así se propuso como término científico en lugar de teleología, que, tradicionalmente, tenía que ver con la cuestión del propósito. (Atlan 1995: 109)

De acuerdo con el mismo Atlan, en biología, la idea del “programa genético” surgió precisamente para evitar la necesidad de intencionalidad consciente en los organismos. Las computadoras parecían encarnar perfectamente la idea de la teleonomía, pues siendo máquinas deterministas, mostraban alta eficiencia en realizar complejos procesos para alcanzar un fin (la ejecución de un “programa”) sin la necesidad de postular que ellas tienen una intencionalidad consciente para cumplir dicho fin. Siguiendo este argumento, si los organismos son máquinas, sus cuerpos serían como el *hardware* y la información contenida en el código genético sería como el *software*. Así, recurriendo a la idea de las “conductas genéticamente determinadas” se podría hacer la analogía entre el operar de un organismo y el de una computadora. Ambos “parecen” tener intencionalidad propia, pero en realidad son autómatas vacíos por dentro. Evidentemente, ésta analogía es un poco tramposa porque sólo funciona si borramos del cuadro al programador humano que, en el caso de las computadoras, es en donde se concentra la agencia e intencionalidad del proceso. La analogía es, nuevamente, de aplicabilidad limitada cuando hablamos de seres vivos pues éstos no son máquinas exodeterminadas. ¿Dónde se concentra la agencia e intencionalidad del proceso en el caso de los seres vivos? Una respuesta que ha sido sorprendentemente popular es la de Richard Dawkins, autor del famoso libro *El gen egoísta* (1993). En su visión, los organismos no son sino máquinas genéticas, nada más que “vehículos” utilizados por los genes, quienes son los que en realidad “buscan” sobrevivir dejando copias de sí mismos. Más allá de la inercia cultural que continúa empujándonos a buscar

las causas de los fenómenos en la dinámica de supuestos elementos mínimos como nivel fundamental, pareciera que sentimos un alivio metafísico al relegar la agencia de la Vida a entidades más fácilmente comprensibles como elementos físicos inertes —“los genes egoístas”—.

Yo defiendiendo lo contrario. Hay que devolverle la agencia al organismo como unidad irreductible. Y no sólo en calidad de sistema holístico, sino también como sujeto intencional. Evidentemente, las definiciones comunes de sujeto intencional o sujeto cognoscente están hechas “a la medida” de modo que los humanos sean los únicos seres vivos que encajan en ellas. En vez de seguir defendiendo definiciones que nos conducen a despreciar al resto de los seres vivos, hay que modificar nuestros conceptos para incluir, por ejemplo, la intencionalidad básica de un árbol que crece buscando la luz del sol. Me parece que al distinguir entre las descripciones finalistas en términos de función (que se hacen con relación a un sistema) y aquellas en términos de propósito (que refieren a un sujeto intencional), nos encontramos nuevamente frente a dos perspectivas complementarias —una “internalista” y otra “externalista”— en una situación análoga a las descripciones en primera y tercera persona que podemos usar para describir la facultad cognoscitiva. Así como los biólogos modernos han volteado hacia la física clásica buscando ejemplos de cómo abordar sus objetos de estudio, podríamos ahora tomar ejemplo de los físicos del siglo veinte, quienes se han visto obligados a aceptar que nuestras descripciones sobre el mundo siempre serán parciales y limitadas y que, dependiendo de la perspectiva que tomemos, un mismo fenómeno puede mostrar características aparentemente irreconciliables.

En otro párrafo de su libro, Margulis y Sagan retoman a una de las figuras clave en esta revolución conceptual de la física, para decir:

El físico danés y premio Nobel Niels Bohr (1885-1962), en su discusión sobre la [asombrosa] utilización por los organismos de su “experiencia pasada para reaccionar a estímulos futuros”, defendió que a pesar del éxito de la biología mecanicista basada en la física, era necesaria una descripción que incluyese la «intencionalidad». [...]

[Citando las palabras del propio Bohr:] “es evidente que las posturas denominadas mecanicista y finalista [esto es, intencional] no presentan tesis contradictorias sobre los problemas biológicos, sino que más bien subrayan el carácter mutuamente excluyente de las condiciones de observación igualmente indispensables en nuestra búsqueda de una descripción cada vez más rica de la vida” (Margulis y Sagan 2009: 185).

No estoy sugiriendo que la dualidad onda-partícula en mecánica cuántica explique la dualidad sistema-sujeto en biología o la dualidad mente-cuerpo en ciencias cognitivas (hacer esto sería caer nuevamente en la trampa fundacionalista), lo que sostengo es que es necesario adoptar esa misma conciencia de que nuestros modelos conceptuales no son la realidad. La misma trampa fundacionalista (creer que existe un único nivel fundamental de la realidad, al cual pueden reducirse todos los demás) aparecería si intentamos reducir la intencionalidad de los seres vivos a la tendencia descrita por la segunda ley. Algo así parecen sugerir Margulis y Sagan cuando dicen que los seres vivos podrían ser “una forma especial de organización que el universo ha adoptado [...] ‘para’ obedecer la segunda ley de la termodinámica”. Pareciera que nuevamente se intenta reducir la intencionalidad biológica a una tendencia física, y quitar la agencia de los organismos para disolverla en una propensión sin función ni propósito.

Yo sostengo que el objetivo de los seres vivos no es obedecer la segunda ley ni disipar energía. Su objetivo es mantenerse con vida, y para ello aprovechan la energía disponible disipándola según lo descrito por la segunda ley. A la fenomenología biológica hay que explicarla en su propio nivel. A diferencia de lo que ocurre con los sistemas disipativos no-vivos, sostengo que en el caso de los sistemas autopoieticos sí podemos considerar —sin que sea una expresión metafórica, sino literalmente hablando— que tienen mínimamente una intencionalidad básica universal: quieren mantenerse con vida y reproducirse, buscan mantener —para ellos mismos y para su linaje— la continuidad de la vida. Evidentemente decir esto pasa, nuevamente, por ampliar nuestra noción de intencionalidad como capacidad de tener “propósitos”, “metas”, “objetivos”. No sólo debemos considerar la forma particular nuestra de plantearnos objetivos utilizando

el pensamiento-en-el-lenguaje y los modelos conceptuales que nos son propios. Habría que considerar formas más básicas de intencionalidad que pasan por el deseo orientado a conseguir ciertos satisfactores (como el alimento apropiado), la búsqueda de placer (normalmente asociada a funciones corporales vitales), para incluir hasta el impulso más básico a la acción orientada a la supervivencia-reproducción que pueda sentir el organismo bacteriano más simple. Claro está que encontraremos de vez en cuando individuos que no manifiestan esta *voluntad de vivir*, y es fácil adivinar cuál será su destino: no sólo la muerte individual sino la extinción de sus linajes. De este modo, por selección natural, es posible entender que con el tiempo veremos más de aquellos organismos que sí manifiestan una voluntad de vivir. ¿Qué sería de la teoría de la selección natural si, en la “lucha por la supervivencia”, los organismos carecieran de este impulso vital a mantenerse y reproducirse? Reconocer este impulso que motiva la conducta de los organismos —“las ganas de estar vivo”, por decirlo más coloquialmente— como una intencionalidad básica universal entre los seres vivos, es algo que resulta evidente para muchas personas. Sólo para quienes se aferran al modelo del organismo como autómatas cartesianos y a la visión del mundo como *res extensa*, reconocer esto les resulta problemático.

El escritor, pintor y músico inglés Samuel Butler (1835-1902), un crítico temprano del ultramecanicismo, decía que éste había “sacado la vida de la biología”. En su visión —muy cercana a la que aquí he planteado— todo ser vivo responde sensitivamente a un entorno cambiante e intenta cambiar él mismo a lo largo de su vida. Butler presentaba a los seres vivos como entidades que siguen sus pequeños propósitos, toma innumerables pequeñas decisiones con un efecto acumulativo que les hacen responsables, en parte, de su propia evolución. “Para Butler, incluso las amebas tienen sus pequeños anhelos, sus pequeñas esferas de influencia, sus pequeñas ‘cajas de herramientas’ con las que materialmente cambian su medio ambiente, persiguen sus pequeñas metas y construyen sus pequeñas casas”, dicen Margulis y Sagan, quienes concluyen que “la ciencia moderna no excluye esta posibilidad”. (Margulis y Sagan 2009: 183-185).

2.2. Historia de la Vida

2.2.1. Origen de la vida

Una vez atendidas las preguntas sobre qué es la Vida y qué es un ser vivo, pasaré a considerar las discusiones sobre la historia de la vida en este planeta. Comenzaré por los modelos sobre el origen de la vida, para discutir después algunos aspectos importantes para interpretar la evolución de la vida, concluyendo el capítulo con la discusión sobre si hay o no hay algún sentido en el que avance la evolución, alguna dirección o alguna forma identificable de progreso, todo lo cual será el marco para discutir, en el siguiente capítulo, cuál ha sido el papel del *Homo sapiens* en esta gran historia.

Pese a lo que parece sugerir el título de su célebre obra —*El origen de las especies*—, la cuestión del origen de la vida a partir de la “materia inanimada” quedaba más bien fuera de la jurisdicción de la teoría de Charles Darwin: el modelo de la evolución de las especies por selección natural puede aplicarse a situaciones en las que *ya existe* una población de unidades autorreplicantes sobre las cuales actuará la selección natural... Pero aunque no fuera éste el tema central de su modelo, en el nuevo cuadro de la historia de la vida pintado por Darwin —muy diferente al que se desprendía del relato bíblico— la pregunta por el origen de la vida exigía una nueva respuesta. Si todas las especies se habían desarrollado a partir de un ancestro común, ¿de dónde surgió esa forma de vida ancestral? En las primeras ediciones de *El Origen de las Especies*, Darwin sugería que la evolución biológica había sido precedida de una *evolución fisicoquímica* diciendo que es posible imaginar “que en alguna pequeña charca cálida, con toda suerte de sales de amonio y fósforo, luz, calor, electricidad, etcétera, se creara una sustancia proteínica capaz de experimentar transformaciones ulteriores más complejas” (citado en Schneider y Sagan 2008: 206). Sin embargo, como notaba Kant, la física newtoniana por sí misma no parece capaz de explicar el origen de la vida. Quizás esa misma reflexión esté detrás de este otro pasaje, en el que Darwin sugiere la intervención divina:

Hay grandeza en esta concepción de que la vida, con sus diferentes facultades, fue originariamente insuflada [por el Creador] en unas cuantas formas o en una sola, y que, mientras este planeta ha ido girando según la constante ley de la gravitación, se han desarrollado y se están desarrollando, a partir de un comienzo tan sencillo, infinidad de formas cada vez más bellas y maravillosas... (Darwin 1983 [1859]: 280-281).

El origen de la Vida continúa siendo uno de los más grandes misterios de la ciencia. Sin embargo, como ya adelantaba en un apartado anterior, el vacío explicativo que Kant acertadamente identificaba ha sido en gran medida cubierto hoy en día por los nuevos modelos de la termodinámica del no-equilibrio. Estos modelos permiten cerrar considerablemente la brecha entre la evolución prebiótica y la evolución biológica (como veremos en este apartado) y permiten también replantear el problema de la percibida incompatibilidad entre una evolución termodinámica hacia el sumidero entrópico y una evolución biológica ascendente (como veremos en los siguientes apartados).

En el siglo XIX se pensaba que los entes orgánicos estaban hechos de una extraña y maravillosa “materia orgánica”, una sustancia exclusiva de la vida que se comportaba de manera fundamentalmente distinta que la “materia inanimada”. Sin embargo, actualmente se sabe que los seres vivos estamos formados por materia común y que muchos tipos de moléculas orgánicas aparecen de manera ordinaria en el universo —en una variación de lo que sería la generación espontánea—. Aquella bioquímica básica que compartimos con todas las formas vivientes (principal evidencia de que la vida entera ha evolucionado a partir de un “ancestro común”, el cual bien puede ser una población primigenia) se construye con elementos muy comunes en el universo físico. Somos principalmente agua, y el agua es principalmente hidrógeno, que es el elemento más abundante en el universo y el principal combustible de las estrellas, incluyendo a nuestro Sol. Y como veíamos en el Capítulo 1, el oxígeno, el carbono y demás elementos pesados necesarios para la vida surgen como transformaciones sucesivas del hidrógeno al interior de supernovas del tipo II. La conversión de este tipo de “polvo de estrellas” en “materia orgánica” ocurre comúnmente como un proceso abiótico

en el espacio, es decir, sin necesidad de participación de los seres vivos y sus aparatos metabólicos. Muchos de los compuestos hidrocarbonados de cadena larga propios de la vida —como el cianuro (HCN), el metano (CH₄), el amoníaco (NH₃)— son relativamente comunes en el espacio (existen mares helados de metano y amoníaco en algunas lunas de Júpiter y Saturno, por ejemplo). Parece ser que los aminoácidos pueden formarse en el espacio incluso en ausencia de agua, y posiblemente sean ubicuos. Se han detectado diversas clases de azúcares (dihidroxicetona, glicerol, etc.) en meteoritos, sustancias conocidas por ser alimento (fuentes de carbono y energía) para diversos tipos de microorganismos o por ser ingredientes de sus paredes celulares. Los experimentos de laboratorio —inaugurados a inicios del siglo XX por Alexander Ivanovich Oparin, autor del célebre libro *El origen de la vida*— en los que se ha intentado reproducir las condiciones de la Tierra primitiva (con una hipotética atmósfera rica en hidrógeno, metano y amoníaco en la que se introducen flujos de energía como los que ocasionaría la presencia del Sol, la actividad volcánica o las tormentas eléctricas) han sido exitosos en conseguir la producción abiótica de cadenas de nucleótidos (moléculas análogas al ADN), moléculas de ATP (el compuesto utilizado por todos los seres vivos para almacenar energía), entre muchos otros compuestos necesarios para la vida. Sin embargo, la generación espontánea de moléculas orgánicas todavía dista mucho de constituir vida. (Schneider y Sagan 2008: 221).

Incluso la célula bacteriana más “simple” es, en realidad, un complejísimo entramado metabólico, una impresionante articulación funcional de incontables moléculas diferentes concertadas en una fascinante sinergia²⁰ holística que tiene como resultado la continua auto-producción del sistema. Como bien señalan Frederick Hoyle y Chandra Wickramasinghe, la probabilidad de que una célula se formara “de golpe” en la Tierra es tan baja como imaginar el ensamblaje espontáneo de un Boeing 747 debido al paso de un tornado por encima de un

²⁰ “Fue el arquitecto norteamericano Buckminster Fuller quien introdujo la palabra «sinergia» (del griego *synergos*, trabajar juntos) para describir entidades que se comportan como algo más que la suma de sus partes.” (Margulis y Sagan 2009: 17)

montón de chatarra (Schneider y Sagan 2008: 222). Incluso en una “cálida charca” con todos los elementos necesarios, asumiendo un simple comportamiento aleatorio entre los componentes atómicos y moleculares necesarios, los cálculos probabilísticos nos dicen que ni si quiera la edad total del Universo (15,000 millones de años) sería suficiente para construir una sola célula. Así, el misterio de la vida —tal como lo presentan estos cálculos de equilibrio— ha sido esgrimido por los creacionistas como evidencia de su naturaleza milagrosa y su origen divino (Schneider y Sagan 2008: 222).

La Tierra, sin embargo, no está ni ha estado nunca cerca del equilibrio termodinámico. En este punto, los modelos de la termodinámica de sistemas alejados del equilibrio arrojan nueva luz. Como vimos en el capítulo anterior, en ciertas circunstancias, el flujo de energía puede inducir la aparición espontánea de orden, el comportamiento de las moléculas se desaleatoriza y surgen pautas organizadas que pueden involucrar a millones de moléculas en comportamientos coherentes. En estas condiciones —en las que la materia ya no parece tan “inanimada”—, los cálculos de probabilidad cambian completamente y se hace no sólo probable sino predecible la aparición espontánea de sistemas que exhiben altos niveles de organización. En este sentido, los sistemas disipativos descritos por Ilya Prigogine constituirían un auténtico “eslabón perdido” entre la evolución prebiótica de la materia física y la aparición de los primeros seres vivos. Y en efecto, la Tierra primitiva era un escenario atravesado por dramáticos flujos de energía. Margulis y Sagan lo narran elocuentemente:

Es el amanecer, hace 4600 millones de años. La Tierra está en los violentos y rojos llantos de su nacimiento, una implosión gravitacional de roca fundida y torrentes de metal. Amonio, sulfuro de hidrógeno, metano y otros gases supercalentados se agitan en una atmósfera azotada en todo momento y lugar por los rayos. El agua de los océanos está suspendida formando una esfera de vapor de agua que eclipsa cualquier asomo de sol. Bajo estos vapores, espesados con formaldehido y cianuro (compuestos orgánicos simples que se forman espontáneamente en el espacio), la corteza de la superficie hierve de radiactividad y calor.

Mientras tanto, el Sol se ha encendido y ha comenzado a brillar con una explosión de radiación tan poderosa que barre atmósferas planetarias enteras, relegando el hidrógeno gaseoso al exterior del sistema solar. [...] Todos los planetas y sus satélites están sometidos a un bombardeo constante de meteoritos cuyo tamaño oscila entre una mota de polvo y un planetóide. Estos escombros espaciales aportan agua y compuestos de carbono que espesan el caldo que alimentará la vida primitiva en la Tierra.

Un intruso especialmente grande golpea la Tierra lanzando al espacio masas del tamaño de un continente. Pero la colisión lo frena lo suficiente para quedar atrapado en la órbita terrestre. Tras recibir a su vez unos cuantos impactos menores más, el satélite lleno de cráteres comienza a parecerse a la blanca y brillante Luna que hoy nos encanta. [...] La joven Tierra giraría tan deprisa que el día duraría sólo cinco horas. La atmósfera, carente de oxígeno, sería irrespirable y el cielo no sería azul.

Así era la Tierra en el eón Hadeense, hace entre 4600 y 4000 millones de años. [...] Este violento periodo inicial de la historia de la Tierra, llamado así por Hades, el infierno y la morada de la muerte para los griegos, es el primero de cuatro largos eones. (Margulis y Sagan 2009: 53)

No cualquier flujo de energía es adecuado para inducir la aparición de sistemas ordenados: si son demasiado fuertes, serán demasiado destructivos; si no son lo suficientemente constantes, no permitirán la existencia sostenida de sistemas disipativos. Además, para el surgimiento de sistemas disipativos formados por compuestos orgánicos, es necesario un entorno reductor, hipotéticamente alto en hidrógeno (una atmósfera oxidativa —alta en oxígeno— como la que existe hoy en día destruiría prematuramente los compuestos orgánicos impidiendo su evolución). Por esta razón, se había propuesto inicialmente que, para que la vida se hubiera desarrollado, la Tierra primitiva tendría que haber estado rodeada de una atmósfera alta en hidrógeno. Como señalan Margulis y Sagan en el fragmento

arriba citado, existen evidencias²¹ de que esta atmósfera rica en hidrógeno habría sido barrida por el viento solar, descubrimiento que viene a cambiar notablemente el cuadro pintado en los modelos clásicos del origen de la vida.

En el libro *La termodinámica de la vida*, Eric Schneider y Dorion Sagan hacen un recuento de otros modelos teóricos que han sido propuestos más recientemente. De acuerdo con estos autores, descubrimientos recientes aportan evidencias que respaldan la hipótesis de que el origen de la vida terrestre pudo haber ocurrido en las oscuras profundidades del océano, en las calientes paredes de chimeneas volcánicas submarinas. El primero de estos descubrimientos fue el hallazgo de los misteriosos “jardines de Corliss”.

En febrero de 1977, el biólogo Jack Corliss, acompañado de dos colegas, viajó a bordo del sumergible *Alvin* al fondo del océano Pacífico para observar la actividad volcánica submarina. Hasta entonces nadie había visto chimeneas submarinas, grietas en la corteza terrestre por donde sale magma caliente y se filtra agua fría de mar. Tampoco nadie había visto vida en las inmediaciones de estas chimeneas [...] Sobre la dorsal de las Galápagos, la cordillera volcánica submarina situada a trescientos kilómetros al oeste de la costa de Ecuador, Corliss había encontrado un misterioso ecosistema que prosperaba en la oscuridad, y que sustentaba peces ciegos, moluscos, crustáceos de largas patas y bacterias oxidadoras del azufre [...] toda la vida presente se sustentaba en reacciones metabólicas que ocurrían en la oscuridad. Los gases sulfurosos emitidos por las chimeneas [...] “alimentaban” a las bacterias quimiotróficas que se encontraban en la base del ecosistema. Algunos de los organismos presentes, como los cangrejos ciegos, seguramente descendían de formas evolucionadas más cerca de la superficie, pero otros parecían tan adaptados a

²¹ Esta atmósfera primitiva habría contenido, además de hidrógeno, un considerable porcentaje de neón, el cual debería seguir existiendo en la atmósfera actual. Dado que esto no es así, se considera que la atmósfera primitiva fue literalmente “desterrada” hacia el exterior del sistema solar, donde sólo planetas masivos como Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno habrían tenido la gravedad suficiente para retener su dotación original del más ligero de los elementos. (Margulis y Sagan 2009: 53)

estos puntos calientes [...] que era probable que ninguno de sus ancestros hubiera visto alguna vez el Sol [...] Los organismos que vivían del gradiente sulfuro-oxígeno, en lugar de obtener la energía de la luz o la materia orgánica, la obtenían de un gradiente químico muy antiguo, lo cual inspiró en Corliss la idea de que la vida podría haber comenzado en dicho escenario. (Schneider y Sagan 2008: 225)

Las chimeneas submarinas ofrecían un refugio de la violencia que azotaba la superficie terrestre (el bombardeo meteorítico podía llegar a ser más intenso que una guerra nuclear) y podía proveer de un entorno reductor como el que se necesitaba para la proliferación de moléculas orgánicas complejas. Además, dicho refugio ofrece una fuente de energía estacionaria y estable. Con a veces hasta medio kilómetro de altura, pueden ser comparadas con una enorme cámara de reacción continua: el gradiente de temperatura (entre los 1300°C de la roca fundida y los 40°C del lecho oceánico que las cubre) provoca reacciones químicas (algunas quizá catalíticas) entre el azufre, el hierro, el carbono, el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno. A partir del descubrimiento de Corliss, se han encontrado muchos otros ecosistemas semejantes en la vecindad de chimeneas submarinas, las cuales habrían sido aún más abundantes en los océanos de una Tierra joven y todavía caliente, marcada por una intensa actividad tectónica. Adicionalmente, se ha descubierto que la mayoría de los linajes de bacterias arcaicas son termófilos, es decir, son capaces de crecer y proliferar en aguas casi hirvientes²². Además, “sobre la base de la hipotética secuencia de ARN ribosómico del ancestro común más reciente de las bacterias metanógenas, las termófilas y otras arqueobacterias, el biólogo Carl Woese ha concluido que los extremófilos más primitivos muy

²² El biólogo molecular norteamericano Carl Woese ha encontrado tres tipos de bacterias muy resistentes que se distinguen de todas las demás por su RNA ribosómico: los «halófilos» de las aguas hipersalinas, los «termófilos» de las fuentes termales y los «metanógenos» productores de metano. Estos residentes de ambientes extremos tienen un RNA ribosómico similar y distinto del de las demás bacterias. Woese los denomina «arqueobacterias» y, según él, son descendientes directos de las formas de vida más primitivas sobre la Tierra. (Margulis y Sagan 2009: 69)

probablemente poseían un metabolismo basado en el azufre” (Schneider y Sagan 2008: 229).

Gunter Wächterschäuser —químico orgánico alemán— ha desarrollado la hipótesis de Corliss aportando un sofisticado modelo del tipo de reacciones químicas específicas que podrían haber conducido a la vida dentro de las chimeneas submarinas. En su visión, las superficies de pirita (un mineral de hierro muy estable presente en las rocas sedimentarias más antiguas) podrían haber constituido un albergue mineral primigenio (aportado el entorno reductor necesario²³) para la evolución prebiótica de un “metabolismo de superficie”, un entramado de reacciones autocatalíticas que podría ser el precursor del metabolismo de los primeros organismos vivos, pero que se realizaba originalmente adherido a las paredes de pirita²⁴, sin necesidad de los envoltorios celulares (membranas) que más adelante conformarían las primeras células. Esta teoría ha sido complementada por Michael Russell y colegas, quienes han

²³ De acuerdo con Wächterschäuser, la reacción común en la que se sintetiza pirita a partir de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y una sal de hierro (FeS) —ambas sustancias muy difundidas en la Tierra primordial—, conduce a la liberación de hidrógeno y energía. El hidrógeno liberado proporciona el poder reductor necesario para la síntesis de moléculas orgánicas, a partir del dióxido de carbono de la Tierra primordial. Así se resuelve el problema de producir compuestos orgánicos si en el entorno ancestral faltaban los gases ricos en hidrógeno necesarios para la síntesis de compuestos hidrocarbonados. (Schneider y Sagan 2008: 230)

²⁴ La superficie de la pirita, con carga eléctrica positiva, ligaría el dióxido de carbono negativamente cargado y fijaría los productos orgánicos de la reacción entre el hidrógeno y el dióxido de carbono y los compuestos hidrocarbonados a la pirita. A diferencia de la vida celular posterior, las moléculas negativamente cargadas se difundían lateralmente, a través de la superficie mineral, hacia cristales de pirita vacantes. De esta manera se formaría el mencionado “metabolito de superficie” que al principio depende de la síntesis química de pirita pero más adelante podría separarse y hacerse independiente del sustrato mineral. En un primer momento, las reacciones químicas que se propagaran y se adhirieran a la superficie habrían prosperado, pues en este escenario ya operaba una suerte de “selección natural”. Finalmente, estas mismas propiedades adhesivas podrían haber favorecido a los glutinosos ancestros coloidales de las células, permitiéndoles adherirse mutuamente y separarse del sustrato mineral. (Schneider y Sagan 2008: 229-230)

descubierto una forma²⁵ en que burbujas constituidas por membranas coloidales de sulfuro de hierro podrían haber actuado como protocélulas, con lo que se allanaría el camino desde la química autotrófica del sulfuro de hierro hasta la vida propiamente dicha (Schneider y Sagan 2008: 231). Es posible que estas primeras células no aparecieran aisladamente sino como una minipoblación. (Schneider y Sagan 2008: 159)

Se trata de un cuadro altamente especulativo que no puede considerarse definitivo. Sin embargo, más allá de los detalles específicos, la comprensión termodinámica de la vida posibilita imaginar este tipo de transiciones entre sistemas disipativos y reacciones autocatalíticas —como las existentes en las chimeneas submarinas— y el metabolismo propiamente dicho de los primeros seres vivos. En vez de un salto inconcebible entre los organismos vivos y la materia física, hoy en día podemos concebir rutas transitables.

2.2.2. Evolución darwiniana

Entre las protocélulas del modelo y las bacterias de los jardines de Corliss no existe ya mucha diferencia. Tenemos unidades autopoiéticas que se construyen a sí mismas a partir de un flujo de materia y energía. En este caso se trata de bacterias que aprovechan la reducción del sulfato del agua al sulfuro de hidrógeno que ocurre dentro de las chimeneas submarinas, a partir del cual el metabolismo de las bacterias puede extraer carbono del agua para construir las moléculas orgánicas que conforman su estructura. Se trata sin duda de un episodio fascinante de la evolución de la materia y la energía en el universo. Sin embargo, lo que Corliss encontró —explorando las profundidades del océano de este planeta azul a bordo del submarino Alvin— fue algo todavía más maravilloso: no

²⁵ Cuando se vierte agua caliente saturada de sulfuros de hierro solubles en un entorno de agua fría, los sulfuros precipitan como membranas y forman burbujas gelatinosas. Las superficies de las membranas absorben moléculas orgánicas en solución y los complejos metal sulfuro catalizan una variedad de reacciones químicas en las superficies. (Schneider y Sagan 2008: 229-231)

sólo una colonia de bacterias quimioautótrofas²⁶ procesando materia y energía, sino un ecosistema entero. Las moléculas orgánicas que confeccionan estas bacterias constituyen la materia prima que mantiene a toda una diversidad de organismos (almejas gigantes, mejillones, cangrejos ciegos, octópodos, gusanos, etc.). Cada uno de estos organismos está especializado para habitar un nicho específico dentro del conjunto. En torno a las chimeneas existe un hervidero de vida bullendo en total oscuridad, comunidades de distintas especies cuyas vidas están indisociablemente articuladas en una red compleja de interdependencias: todos los organismos dependen del procesamiento primario hecho por las bacterias, pero en algunos casos también los organismos —como los gusanos pogonóforos— establecen relaciones mutualistas con ellas, en las que ambos salen beneficiados. Para existir de manera estable en el tiempo debe haber mecanismos de autorregulación que permitan que determinadas variables en el ecosistema (como la proporción entre poblaciones de especies distintas) se mantengan dentro de ciertos parámetros en un equilibrio dinámico análogo a la homeostasis del organismo. Por ejemplo, si entre los organismos que se alimentan de las bacterias productoras hubiera unos depredadores tan “exitosos” que pudieran comérselas a todas, dicho “éxito” sería, evidentemente, el último episodio de esta maravillosa historia. Dando por sentado que (mediante la hipótesis de Corliss-Wächterschäuser o cualquier otra) tenemos ya en el océano una población primigenia de seres vivos autoproduciéndose y reproduciéndose, ¿cómo entender el paso de esto a una red de diversidad articulada como la de los misteriosos jardines de Corliss?

No es necesario viajar en submarino para sorprenderse con esta cualidad del mundo vivo. Al observar por vez primera la manera en que en una planta (fija) crece una flor con las características necesarias para atraer a un insecto volador

²⁶ A diferencia de los heterótrofos (*heteros-* otro diferente, *trophos-* nutrición, alimento), los autótrofos (*autos-* por sí mismo, *trophos-* nutrición, alimento) son capaces de sintetizar sus propias azúcares a partir de precursores químicos y alguna fuente de energía: los quimioautótrofos con energía de un gradiente químico como el de la reducción del sulfato de hierro, los fotoautótrofos con la energía solar.

que, mientras consigue alimento para mantener a su colmena, se encarga de polinizar a las plantas para que éstas puedan entregar un fruto, y que éste a su vez será comido por otros animales que, mientras aprovechan esa rica fuente de azúcares, dispersarán sus semillas para que crezcan nuevas plantas... ¿quién podría no maravillarse con el milagro de la Vida en este planeta? Como se sabe, en la tradición judeocristiana se entiende que la causa de esta maravilla está, en última instancia, *más allá* del mundo físico, en el mundo espiritual. La metáfora del reloj y el relojero fue utilizada por William Paley —en el libro *Teología natural o pruebas de la existencia y atributos de la divinidad* (1802)— para argumentar que, así como los mecanismos de un reloj son las pruebas del diseño de un relojero, la complejidad del mundo vivo es la prueba del diseño intencionado del Creador. Se atribuye una voluntad y una inteligencia divinas como causas externas del diseño —a la vez tan hermoso y tan funcional— de la flor que atrae al insecto polinizador, y de cada uno de los atributos de cada una de las especies, las cuales habrían sido diseñadas y creadas directamente por Dios (para permanecer fijas e inmutables a partir de entonces, según la interpretación fixista). En cambio, la teoría de Darwin sobre la evolución de las especies plantea una explicación en términos mecanicistas: las maravillosas formas y sorprendentes atributos de la diversidad de seres vivos son resultado de un proceso natural que puede modelarse como un mecanismo: la famosa teoría de la selección natural que explica el modo en que cada especie habría evolucionado a partir de un ancestro común (como las mencionadas bacterias quimioautótrofas).

La clásica discusión entre creacionistas y evolucionistas (que acumula más de 150 años) es un reflejo, en un nivel superior, de la discusión entre vitalistas y mecanicistas. Los primeros postulan la intervención de alguna entidad del mundo espiritual para explicar aquellos fenómenos que la simple materia —regida por las leyes del mundo físico— no sería capaz de hacer por sí misma. Los segundos postulan explicaciones mecanicistas en las que no es necesaria la intervención de ningún elemento más allá del mundo físico. La explicación mecanicista originalmente no excluía la idea de Dios (sólo limitaba su intervención al momento de la Creación, luego de lo cual el reloj funciona por sí mismo) pero, en la

modernidad tardía, la teoría darwiniana fue considerada uno de los argumentos definitivos para hacer del todo innecesaria la “hipótesis de Dios”. Para los materialistas ateos, ya no tiene ningún sentido ni utilidad postular ningún mundo espiritual como causa de los fenómenos naturales: por más misteriosos o milagrosos que puedan parecernos, la actitud moderna está marcada por la confianza en que no hay nada “sobrenatural” en ellos y que, algún día, se descubrirán las leyes que los explican (las cuales, posiblemente, nos permitirán controlarlos).

Para entrar en esta parte de la discusión conviene revisar primero qué es exactamente lo que propone la teoría de la selección natural. De acuerdo con la generalización propuesta por John Maynard Smith (tomado de Jablonka y Lamb 2005: 11), las propiedades que cualquier grupo de entidades debe cumplir para que se produzca la evolución por medio de selección natural son las siguientes:

- (i)** Multiplicación- una entidad puede reproducirse para dar lugar a dos o más entidades
- (ii)** Variación- no todas las entidades son idénticas
- (iii)** Herencia- Entre los distintos tipos de entidades, la multiplicación de entidades del tipo A resultará en más entidades del tipo A, mientras que la reproducción de entidades del tipo B dará como resultado más entidades del tipo B
- (iv)** Competencia- Algunas de las características que distinguen a unas entidades de otras afectan la capacidad de dichas entidades para sobrevivir y reproducirse exitosamente

Si todas estas condiciones se cumplen, la evolución por selección natural es inevitable: aquellos tipos de entidades que tengan más éxito en sobrevivir y reproducirse aumentarán en número (Jablonka y Lamb 2005: 11). En largos periodos de tiempo, el efecto acumulado de incluso las más minúsculas variaciones puede conducir a importantes transformaciones. De entre la variedad de entidades, el éxito diferencial en su búsqueda de reproducirse —la selección natural— irá transformando a las poblaciones de manera congruente con las transformaciones de su ambiente (Maturana y Varela ven aquí otra instancia de

acoplamiento estructural). Como se puede ver, el modelo básico darwiniano es bastante abstracto, y esto es lo que hace posible su aplicación tanto a sistemas autocatalíticos prebióticos como al linaje filogenético de los caballos o a la evolución de los negocios en internet. Tan simple como poderoso, se trata de un planteamiento que ha influenciado enormemente la forma moderna de entender el mundo. Resulta importante verlo así, en su formulación mínima, para darse cuenta de que, actualmente, existe un amplio conjunto de ideas sobre el mundo e interpretaciones sobre la vida que inmediatamente asociamos con una perspectiva “evolucionista” o “darwinista” aunque, de hecho, son suposiciones *adicionales* que no forman parte del modelo básico darwiniano.

Aceptar este modelo como explicación válida de la evolución de los seres vivos no nos obliga a creer que los organismos expuestos a la selección natural son autómatas sin alma o máquinas genéticas. Tampoco tenemos que aceptar necesariamente el paquete completo de la cosmovisión materialista-atea, ni es obligatorio mantenerse dentro del esquema dualista del mundo planteado por Descartes (puntos sobre los cuales ya he explicitado mi posición). Más concretamente, el modelo no nos dice nada sobre la manera en que los seres vivos se reproducen (i) ni sobre cómo se origina la variabilidad (ii) entre ellos. No señala la forma específica en que se produce la transmisión de la herencia (iii), ni cuáles son las características específicas que incrementan el éxito reproductivo (iv) de ciertas entidades. Tampoco nos dice nada sobre cuál sería la dirección en la que la evolución supuestamente deba avanzar. En lo que resta del capítulo presentaré mi posición con respecto a estos últimos puntos. Siguiendo la línea argumentativa que he ido desarrollando, discutiré las limitaciones que nos impone la estrategia analítica-reduccionista-atomista, planteando el contexto para entrar en la discusión sobre si existe una direccionalidad que caracterice al proceso evolutivo en general.

Como ya decía, tras el éxito de la biología molecular con la decodificación del ADN, la biología moderna ha centrado casi toda su atención en los genes como la característica definitiva de la vida, como protagonistas de la explicación de su origen y como punto focal de todo el proceso evolutivo. La visión termodinámica

apunta más bien a una definición metabólica de la vida (sistemas autopoieticos), a modelos metabólicos de su origen (metabolismo de superficie en chimeneas submarinas) y, como veremos a continuación, es compatible con visiones menos genocéntricas (centradas en los genes) de la evolución. Como señalan Schneider y Sagan, la hipótesis de los “orígenes sulfurosos” de la vida “compone un fascinante cuadro de nuestros orígenes en el que, incluso antes de que los ciclos químicos prebióticos hubieran adquirido una mínima fidelidad replicativa real, ya operaba una suerte de selección natural” (Schneider y Sagan 2008: 229). Cuando ellos dicen “fidelidad replicativa” se refieren al tipo de replicación molecular que es propia del ADN y el ARN. Con esto se posicionan en el debate sobre los orígenes de la vida, en el que actualmente predomina la hipótesis del “mundo de ARN”, una visión según la cual las moléculas autorreplicativas de ARN (que además de funcionar como un ADN primitivo también tienen la capacidad de actuar como enzima autocatalítica, promoviendo su propia replicación molecular) habrían constituido las primeras formas de vida en la Tierra, desarrollando posteriormente una membrana celular a su alrededor y toda la maquinaria metabólica propia de una célula procariota. Sin embargo, como señala Jeffrey Wicken, en un mundo de ARN (en el que lo único que importa es la replicación de estas moléculas) no habría razón para que los nucleótidos competidores se autoimpongan la complicada carga de una maquinaria sintetizadora de proteínas; “si primero fueron los genes, que se replicaban frenéticamente en la sopa primordial, entonces la construcción de cuerpos de reproducción lenta para su uso hubiera sido como si un corredor olímpico decidiera competir en una carrera de sacos” (Schneider y Sagan 2008: 213).

Para quienes ven en los genes la característica definitiva de la vida, resulta lógico buscar modelos que expliquen el origen de estos “átomos de la vida” como si esto fuera suficiente para modelar el origen de la vida. Es verdad que todos los seres vivos conocidos (hasta ahora) se reproducen de una manera en la que los genes son muy importantes, pero reconocer esto no necesariamente implica aceptar que dicha forma de reproducción (i) es una característica necesaria y suficiente para decir que algo está vivo (ni, por lo tanto, que explicar el origen de

esta propiedad equivalga a explicar el origen de la vida). Para empezar, vale la pena subrayar que en, el modelo de Maturana y Varela, la capacidad de reproducción no es una característica necesaria para considerar que algo es un ser vivo: basta pensar en las mulas para darse cuenta de que esto es así (Maturana y Varela 1984: 38). Tampoco es una característica suficiente. Desde esta perspectiva, un virus no es un ser vivo: el potencial replicativo de su ADN depende del entorno metabólico de la célula invadida. Por sí mismo, el virus no procesa materia ni energía (no tiene metabolismo) y carece de la maquinaria autopoiética necesaria para reproducirse. En cambio, podemos imaginar un sistema autopoiético unicelular —capaz de producir continuamente los componentes que le constituyen como tal— cuyo operar no incluya la participación de genes. En principio, este hipotético sistema tendría también la maquinaria necesaria para producir los componentes de un segundo sistema autopoiético. La reproducción por bipartición podría producirse sin necesidad de genes, y de hecho se han observado fenómenos semejantes en laboratorio: en su dinámica de crecimiento, burbujas autocatalíticas pueden alcanzar un punto crítico en el que la tensión superficial les hace separarse de manera espontánea en dos burbujas “hijas”. Si estas burbujas contienen en su interior los ingredientes necesarios para continuar la autocatálisis, podrán a su vez crecer hasta un nuevo punto de bipartición. En este punto ya tendríamos no sólo reproducción sino reproducción con herencia de caracteres.

Por otro lado, la visión genocéntrica de la evolución —aquella que concentra en los genes, moléculas inertes, toda la “agencia” del proceso— considera que la evolución es un proceso ciego y mecánico en el que los organismos parecen tener un papel bastante pasivo. Uno de los elementos de esta interpretación es la idea de que la variabilidad genética (ii) —la fuente de creatividad de todo el proceso evolutivo— resulta únicamente de errores en el proceso de replicación genética, mutaciones “ciegas”, aleatorias y accidentales que no expresan ningún tipo de intencionalidad. Siguiendo con la metáfora de que el “programa genético” es como el “instructivo” con el que se construyen los autómatas, la evolución aparece como un proceso en el que lo fundamental es la progresiva modificación de estos

“instructivos”. En el caso de las máquinas construidas por los humanos, no hay duda de quién escribe y/o modifica los instructivos —el ingeniero humano tiene la agencia del proceso—, pero en el caso de los seres vivos, ¿quién escribe o modifica los instructivos? Desde una perspectiva evolucionista-atea, la respuesta típica será “no hay nadie que escriba los instructivos, éstos resultan de variabilidad aleatoria —sin propósito ni diseño alguno— y selección natural”. Topamos aquí con una situación análoga a la del ensamblaje espontáneo de un Boeing 727 como resultado del paso de un tornado por encima de un montón de chatarra. Se sabe que la inmensa mayoría de las mutaciones que resultan de los errores de replicación genética —que de por sí se presentan en una tasa muy baja— son perjudiciales y hasta letales para los organismos. Entre los incontables lugares del genoma en donde se puede producir un error de replicación, con todas las diferentes formas que puede tener ese error, y las impredecibles consecuencias que tendrá dicha mutación al integrarse a la red no-lineal de procesos del organismo, primero, y a sus interacciones con el ambiente, después, la probabilidad de que una mutación benéfica aparezca por azar parece infinitesimal. Sería como imaginar la probabilidad de que, copiando mecánicamente los caracteres rusos (asumiendo que no entendemos ruso) del instructivo para armar un robot, nuestra copia tenga ciertos errores que, en vez de resultar sin sentido, produzcan un robot mejorado. Con infinitos intentos, parece teóricamente posible que —sin propósito ni diseño alguno— algo así pudiera suceder. Se trataría, sin embargo, de un “milagro” probabilístico: la cantidad de papeles sin sentido que habría que descartar por selección sería astronómica. Aún así, los evolucionistas-ateos no tienen gran problema en aceptar la idea de estos “milagros” probabilísticos: su ocurrencia no viola las leyes del universo físico que ellos aceptan como verdadero, son milagros concebibles dentro de su cosmovisión materialista. Como señala Henri Atlan, en muchos casos “el término ‘selección natural’, como se utiliza actualmente, es una especie de invocación mágica que se utiliza cada vez que hay que explicar una determinada organización natural adaptada y dotada de una finalidad”; en el lenguaje científico, Dios y las fuerzas vitales han sido reemplazados por la selección natural (Atlan 1995: 112).

Lo que sí resulta inconcebible desde la cosmovisión mecanicista es la intervención de un sujeto intencional en el proceso. La idea de que la variabilidad genética pueda aparecer de manera dirigida por el organismo (cuando y donde la necesite) es automáticamente descartada como un absurdo lamarckiano, como si *por querer* alcanzar las hojas más altas, las jirafas pudieran heredar cuellos más largos a sus crías. Sin embargo, como muestran Ewa Jablonka y Marion J. Lamb (2005), diversos investigadores han presentado evidencia sugiriendo la ocurrencia no-aleatoria de mutaciones genéticas, es decir, que la variabilidad genética no es completamente accidental sino que está hasta cierto punto regulada por el organismo en cuestión. Como se sabe, la replicación del ADN pasa por distintos mecanismos moleculares de revisión y corrección, de tal manera que la tasa de error (mutación accidental) es extremadamente baja. Sin estos mecanismos operando efectivamente, linajes de organismos fracasarían en sobrevivir, pues la mayoría de las mutaciones accidentales son dañinas. Demasiada variación también afecta la herencia de caracteres benéficos, pues aumenta la probabilidad de que éstos no lleguen a la siguiente generación. Lo que se discute aquí es si aquellas mutaciones que de hecho se producen (con una tasa muy baja) son necesariamente errores del sistema, accidentes ciegos que no responden a una necesidad específica. Las autoras presentan abundantes y detallados ejemplos (que sería muy largo reproducir aquí) respaldando la idea de que, en efecto, además de las mutaciones accidentales y ciegas, existe variabilidad genética *semi-dirigida* que ocurre de manera inespecífica como resultado del estrés al que son sometidas las células, así como variabilidad genética *dirigida* consistente en cambios adaptativos que ocurren en lugares específicos del genoma (ahí donde se le necesita) y en los momentos específicos en que se le requiere como respuesta adaptativa a determinados estímulos ambientales (Jablonka y Lamb 2005: 89). No es que las células reescriban intencionalmente su genoma a voluntad y con un objetivo preconcebido, sino que aparentemente los mecanismos que controlan la replicación del ADN pueden distinguir qué áreas del genoma deben replicarse con toda fidelidad (aquellas en las que las mutaciones tienen todas las probabilidades de resultar dañinas o destructivas) y qué áreas pueden

permitirse variar más (teniendo mayores probabilidades de generar una mutación benéfica). La probabilidad de que se produzcan mutaciones que no sólo no sean dañinas, sino que de hecho sean benéficas para el organismo, se incrementa notablemente cuando —en la metáfora de Jablonka y Lamb— la aparición de una respuesta adaptativa no consiste en una búsqueda totalmente ciega y aleatoria de una aguja en un enorme pajar, sino en la búsqueda dirigida de la aguja en una pequeña esquina del pajar, ahí donde las probabilidades de encontrarla son mucho mayores. Las probabilidades de que la célula encuentre una solución (por mutación genética) a determinados problemas son incrementadas por mecanismos (adquiridos en su historia evolutiva) que le proporcionan pistas útiles sobre dónde y cuándo es conveniente generar mutaciones (Jablonka y Lamb 2005: 101). Estos mecanismos celulares que alteran el ADN como respuesta a perturbaciones provenientes del ambiente o de otras células pueden entenderse como resultado de la misma evolución por selección natural. Sin embargo, considerar la variabilidad genética en su entorno metabólico nos conduce hacia una visión de la evolución en la que los organismos recuperan algo de la agencia perdida en las visiones genocéntricas.

El principal objetivo del trabajo de Jablonka y Lamb es desafiar la creencia de que los genes son el *único* canal de transmisión hereditaria (iii), centro absoluto del proceso evolutivo. En el citado libro, *Evolution in four dimensions*, las autoras exponen la existencia de otros tres mecanismos de herencia, además del genético, obteniendo una amplia visión de la evolución en “cuatro dimensiones”. El segundo de los mecanismos revisados por Jablonka y Lamb es la herencia epigenética. Resulta obvio —aunque en general sea ignorado— que el código genético no es lo único que una célula hereda a sus descendientes: existe una continuidad hereditaria entre todos los componentes de la célula “madre” (la membrana celular, el contenido citoplasmático, los distintos organelos, etc.) y los de sus “hijas”. Las autoras dedican todo un capítulo para mostrar que, en este nivel, gran parte de la variabilidad se produce como respuestas dirigidas ante situaciones específicas. La tercera y cuarta dimensión (de las que nos ocuparemos con más detalle en el próximo capítulo) son los mecanismos de

herencia conductual (que incluye diversas formas de aprendizaje observables especialmente en animales con sistema nervioso) y los mecanismos de herencia simbólica (que consisten en la transmisión de información por medio del lenguaje en el caso de los humanos). La dicotomía naturaleza-cultura al estilo “genes VS memes” (Dawkins) resulta no sólo simplista sino equivocada. Contra aquella visión en la que los humanos parecen radicalmente fuera del mundo natural, siendo los únicos que no están completamente determinados por sus genes sino que pueden proponerse objetivos y metas gracias a la razón, con el marco presentado por Jablonka y Lamb obtenemos una visión en la que el resto de los seres vivos no aparecen como máquinas ciegas y genéticamente determinadas, sino que podemos concebir una visión de continuidad en la que, a la manera particular de cada especie, todo organismo expresa una intencionalidad básica al buscar la continuidad de su vida y la de sus descendientes. La creatividad del proceso evolutivo puede verse como otra expresión de esta intencionalidad básica, en una visión de la evolución de la Vida que —incluso en el nivel genético— se revela como un proceso menos “ciego” que lo que estamos acostumbrados a pensar.

La idea de que la evolución es “ciega” se ha esgrimido principalmente contra las ideas de un plan divino y un diseño inteligente, lo que nos devuelve a la discusión entre evolucionistas y creacionistas. Al igual que la discusión entre vitalistas y mecanicistas, ésta se desarrolló dentro del esquema dualista de la *res cogitans* (entendiendo la inteligencia, la capacidad de planeación y diseño como cualidades espirituales y/o exclusivamente humanas) y la *res extensa* (entendiendo al mundo físico-natural como mecánico, pasivo y “ciego”, es decir, incapaz de plantearse ningún propósito). Cuando Darwin postuló un mecanismo mediante el cual el mundo natural evolucionaba *por sí mismo* (sin necesidad de la intervención continua del Creador, según las interpretaciones teístas, o sin necesidad de Creador alguno, según las interpretaciones ateas), tomó como modelo el trabajo del mayor científico hasta ese momento, quien había pasado a la historia precisamente por explicar el funcionamiento mecánico del gran reloj cósmico: Isaac Newton. Darwin describió la evolución tal como Newton había descrito la gravedad: como el resultado de interacciones mecánicas gobernadas

por principios abstractos, entendiendo a los organismos como elementos mínimos sujetos a fuerzas externas (la función selectiva del ambiente).

Recurriendo a la misma estrategia atomista que la física newtoniana —el modelo científico más respetado de la época—, Darwin centró su atención en el nivel más bajo que se podía estudiar en aquel tiempo (dado que aún no se desarrollaba la teoría genética), tomando a los organismos individuales como unidades elementales. Mediante la reducción de los fenómenos evolutivos a gran escala hacia un nivel causal inferior, el modelo darwinista pretendía explicar todos los niveles del proceso evolutivo a partir de una única dinámica fundamental: la competencia entre los individuos (iv) (García Leal 2013: 33). Vemos aquí nuevamente la esperanza del proyecto científico moderno de lograr identificar un nivel fundamental que explique la diversidad de los fenómenos, una dinámica elemental a la que pueda reducirse la complejidad del mundo.²⁷

García Leal señala que el modelo darwiniano de evolución por selección natural se inspiró en el famoso modelo de la economía de libre mercado de Adam Smith.

El argumento primario del *laissez-faire* se basa en una paradoja. Podría suponerse que la mejor vía hacia una economía óptimamente ordenada debería ser producto de un análisis a cargo de una comisión de los principales expertos, con plenos poderes para promulgar leyes que hagan posible la puesta en práctica de sus recomendaciones racionales. Adam Smith, por el contrario, argumentó que la mejor vía es la opuesta: los legisladores y

²⁷ Sin atribuir necesariamente a Darwin un anhelo de control como motivación ulterior, para el proyecto científico moderno, en general, descifrar la monocausalidad oculta de la naturaleza es como encontrar la manivela oculta que gobierna el funcionamiento del autómeta: si se identifican las leyes fundamentales y las variables relevantes, entonces podemos aspirar no sólo a comprender sino a manipular efectivamente la Naturaleza, a adquirir un control sobre ella. El mejoramiento dirigido de ciertas especies animales y vegetales “domesticadas” mediante “selección artificial” y los proyectos eugenésicos —que buscaban mejorar la raza humana aplicando una lógica selectiva/eliminativa basada en prejuicios raciales— pueden verse como la aplicación práctica de estos conocimientos, proyectos que comparten la intención de la actual ingeniería genética pero que no disponían todavía de la biología molecular.

gobernantes deberían hacerse a un lado y dejar que cada individuo busque su beneficio personal sin ninguna traba (una estrategia que parecería conducir inexorablemente al caos y el desorden). Al permitir que el mecanismo de la lucha individual por el éxito proceda libremente, los más eficientes eliminan a los menos capaces e instauran un equilibrio dinámico. El beneficio para la sociedad es una economía óptimamente ordenada y próspera (edificada sobre una montaña de negocios muertos). El mecanismo funciona mediante la lucha desenfadada entre los individuos por la recompensa individual.

La teoría de la selección la naturaleza. Los organismos individuales involucrados en la “lucha por la vida” se comportan como el análogo de empresas en competencia, con el éxito reproductivo como análogo del éxito financiero. Continuando con la analogía, la competencia entre las empresas es el único proceso causal en marcha, sin ninguna ley explícita que imponga el buen diseño por decreto. Es más, esta causa actúa a bajo nivel, y sólo para beneficio de las empresas individuales. El buen diseño y el equilibrio general son un efecto colateral de la competencia individual. Adam Smith habló de una “mano invisible”, lo que en los términos de la teoría de la complejidad podría traducirse como que el orden colectivo surge como un efecto de causación ascendente a partir de la lucha individual (García Leal 2013: 31-32).

Esta idea de una “lucha por la vida” en la que todos los seres vivos compiten unos con otros por satisfacer sus necesidades egoístas a costa de lo que sea, sin escrúpulos morales ni de ningún otro tipo, ha marcado profundamente la visión moderna de una naturaleza “roja de garra y diente”. En un primer momento, Darwin —al igual que la mayoría de los naturalistas de su época— veía en el mundo natural un estado de perfecto equilibrio y armonía. Tras leer el *Ensayo sobre la población* de Thomas Malthus, en el que se modelaba la manera en que el crecimiento exponencial de las poblaciones humanas podía rápidamente exceder el suministro de comida de una nación, se dio cuenta de que, en el mundo natural, el persistente intento de dejar descendientes implica que en cada

generación nacen más animales de los que pueden sobrevivir por lo que, inevitablemente, sus vidas estarán marcadas por la lucha y la competencia. Esta cruda visión ciertamente cambia nuestra concepción del mundo. Darwin escribía “es difícil creer en la guerra terrible y silenciosa que hay en los bosques pacíficos y en los campos tranquilos”.

Un siglo más tarde, la idea de los “genes egoístas” —desarrollada originalmente por George Williams y popularizada por Richard Dawkins—, profundizó aún más la idea del egoísmo a ultranza como motor de la evolución y llevó adelante el mismo procedimiento de reducción a elementos mínimos para afirmar que la verdadera unidad de selección no es el organismo individual sino el gen. El argumento en el que se basa el seleccionismo génico es que, aunque las presiones selectivas se ejercen sobre los organismos, lo que de hecho se selecciona son sus genes, pues sólo estos se perpetúan como tales en la siguiente generación (García Leal 2013: 133). Los genes se hacen así depositarios de las propiedades que antes caracterizaban a los organismos individuales: se multiplican replicándose, varían por mutación y compiten entre sí de manera que las variantes más aptas aumentan de número a expensas de las menos aptas. De esta manera el seleccionismo génico ha llevado el proverbial individualismo darwinista a un nuevo nivel (García Leal 2013: 141). Ya he presentado argumentos contra la idea de los genes egoístas y a favor de una visión holística-sistémica que retorna la agencia perdida a los organismos. A continuación daré otro paso en la misma dirección, mostrando una aplicación del modelo darwiniano de la evolución por selección natural de manera holística, sistémica —ecológica— para subrayar que el éxito egoísta de los organismos individuales no es lo único que cuenta. Pero antes de hacerlo, introduciré algunos elementos para iniciar también la discusión en torno a la direccionalidad del proceso evolutivo que, como veremos, está íntimamente relacionada.

2.2.3. Direccionalidad de la evolución

La discusión sobre la direccionalidad de la evolución gira, en gran medida, en torno a la idea de progreso. Pese a los esfuerzos recientes de muchos biólogos, en el imaginario colectivo sigue predominando aquella visión popular de la evolución como un proceso de continuo perfeccionamiento que va desde los organismos más simples y “primitivos” —como las bacterias— hasta los organismos más complejos y “avanzados” —como los seres humanos—. “Y, afanándose para ser Hombre, el gusano asciende por todos los capiteles de la forma”, decía Ralph Waldo Emerson en el siglo XIX (citado en Margulis y Sagan 2009: 118). La famosa “escala de la vida” ordenaba sobre un mismo eje la totalidad del mundo biológico, separando a los organismos simples de los complejos —siguiendo por ejemplo la clasificación aristotélica entre “vida vegetativa”, “vida sensitiva” y “vida intelectual”—. Esta misma representación lineal fue fácilmente empalmada con el relato evolucionista visto como un progreso lineal, asumiendo que los organismos simples corresponden a los inicios de la evolución de la vida y los complejos a las etapas más avanzadas y desarrolladas. Si esto fuera así, ¿por qué entonces existen todavía los organismos simples hoy en día? En esta visión, no importa mucho lo que suceda con los organismos simples más allá de que fueron el origen de la vida; los animales complejos se toman como los protagonistas de la historia y casi todos los relatos se centran exclusivamente en ellos. Se trata de una interpretación que empata bien con los presupuestos básicos de la cosmovisión antropocéntrica occidental (de ahí su popularidad y persistencia). Tras la apariencia objetiva de la “complejidad organísmica” subyace el nada científico sesgo antropocéntrico: si bien hay acuerdo en decir que los organismos pluricelulares son más complejos que los unicelulares, a partir de ahí la cuestión se vuelve menos clara y en muchos casos los indicadores de complejidad parecen medir, más bien, qué tan parecidos son a nosotros. El discurso implícito es que nosotros —con nuestros complejos cerebros y organizaciones sociales— somos la especie “más apta” para la supervivencia, y el grado de evolución de los otros seres vivos puede medirse con referencia a

nosotros. La complejidad organísmica se toma como característica adaptativa universal, como una cualidad que siempre (o, al menos, en la mayoría de los casos) otorga ventaja competitiva a quienes la poseen, por lo que el proceso de perfeccionamiento evolutivo tendería a incrementarla.

El propio Darwin fue ambivalente en este punto. En su famosa obra — cuyo título completo es *Sobre el origen de las especies o la supervivencia de las razas superiores en la lucha por la vida* (1859)— Darwin señalaba que:

Los habitantes de cada periodo sucesivo en la historia del mundo han ganado a sus predecesores en la carrera por la vida, y son, hasta ese punto, superiores en la escala de la naturaleza. Y esto puede explicar este sentimiento vago y mal definido que muchos paleontólogos tienen de que, en su conjunto, la organización ha progresado (citado en Gould 2009: 345).

La célebre frase de la “supervivencia del más apto” no proviene originalmente de puño y letra de Darwin, sino de Herbert Spencer, quien la utilizaba para referirse explícitamente a una visión del progreso inevitable de los seres vivos hacia una perfección creciente mediante la eliminación selectiva de los peor dotados (García Leal 2013: 34). Haciendo suya esta frase, Darwin pareciera suscribir dicha visión. Sin embargo, por otro lado, en un cuaderno de notas escribió: “es absurdo decir que un animal es superior a otro”. Reconoció que su modelo básico no implicaba ninguna tendencia general ni direccionalidad a largo plazo: las poblaciones se modifican por selección natural respondiendo a las exigencias que sus ambientes *locales* presentan en un momento *particular*, pero éstas cambian continuamente por lo que el modelo no implica ningún progreso *general*. Desde esta perspectiva tanto la aparición de ojos para percibir la luz como la pérdida de los mismos en organismos que se adaptan a vivir en la oscuridad son ejemplos de “evolución” (aunque nos sintamos inclinados a ver la segunda como “involución”) y de “progreso relativo” (relativo a las circunstancias locales y particulares de un momento en la historia de ese linaje filogenético). Por lo tanto, no hay nada que permita afirmar que un organismo es superior a otro en términos absolutos, ni

tiene sentido decir que la aparición de ciertas características implique un “progreso general” hacia alguna parte.

Darwin escribió el 4 de diciembre de 1872 al paleontólogo americano Alpheus Hyatt: «Después de una larga reflexión, no puedo evitar la convicción de que no existe una tendencia innata al desarrollo progresivo» (Gould 2009)

Ahí donde algunos han intentado encontrar alguna forma de congruencia, Stephen Jay Gould opta por aceptar simplemente que ambas posiciones forman parte genuina del pensamiento de Darwin y que hay una auténtica contradicción entre ellas. De acuerdo con García Leal, para Darwin

La imposibilidad de dar cuenta del incremento progresivo de complejidad desde las formas de vida más simples hasta las más complejas era una fastidiosa carencia de su teoría. Consciente de que el mecanismo de la selección natural sin más no podía proporcionar una explicación plenamente satisfactoria del incremento evolutivo de la complejidad orgánica, Darwin quiso buscarla en un mecanismo accesorio: la coevolución de depredadores y presas (lo que en la literatura sobre el tema se conoce como “carrera de armamentos”). (García Leal 2013: 19)

Como dice Gould, grandes teóricos se han debatido a lo largo de sus vidas en torno a ciertos dilemas, a veces demasiado grandes y cargados de implicaciones. Reconocer ese debate interior puede ser una mejor manera de hacer honor a sus esfuerzos. Entre los darwinistas, generaciones sucesivas han retomado una u otra de estas posiciones (e ignorado la contraria) dependiendo del argumento que quieran defender y según fueran los ánimos de la época que les tocó vivir.

Actualmente predomina la interpretación que niega el progreso general: todo progreso es relativo a las exigencias cambiantes del ambiente, no hay ningún progreso absoluto. Los que sobreviven no son los vencedores heroicos que se adelantan en una carrera lineal de perfeccionamiento, sino simplemente organismos oportunistas que encuentran la posibilidad de sobrevivir en escenarios siempre cambiantes. No existe ninguna dirección privilegiada de cambio evolutivo:

la vida avanza diversificándose en todas las direcciones posibles. Contra la visión de un camino ascendente claro y bien definido por el cual los organismos progresan con el tiempo, predomina ahora la visión de caminos retorcidos y sin ninguna meta más allá de la supervivencia inmediata. La evolución sería más como un permanente vagabundeo sin rumbo ni dirección fijos. En esta competencia no hay ganadores definitivos, sino sólo los triunfos efímeros de quienes logran mantenerse dentro de la competencia, sin posibilidad de alcanzar ninguna victoria final.

La idea de una evolución progresiva cuya culminación es la vida inteligente inspira hoy tanta aversión entre los biólogos que la misma palabra “progreso” se ha convertido en una suerte de tabú cuya sola mención genera incomodidad. (García Leal 2013: 18)

Este nuevo consenso interpretativo —que promulga una interpretación nihilista y a veces hasta fatalista de la evolución por encima del optimismo ingenuo de los primeros evolucionistas— no tiene, sin embargo, mucho tiempo de alcanzado. Durante la mayor parte del tiempo, la opinión predominante ha sido que la evolución avanza en el sentido de un incremento de complejidad. De acuerdo con Daniel W. McShea, el consenso que prevalecía al respecto en tiempos de Darwin y Spencer, y que se instaló entre la comunidad paleontológica anglo-americana desde la última década del siglo XIX, se mantuvo intacto todavía hasta mediados del siglo XX.

At mid century, the consensus was still intact. Some of the major Modern Synthesis authors, notably Huxley (1953), Rensch (1960), and Simpson (1961), said that complexity increases; and Goudge, in his 1961 book *The Ascent of Life*, included increasing complexity in a list of large-scale evolutionary patterns widely accepted among evolutionary biologists.

More recently, some have expressed doubts (Williams 1966; Lewontin 1968; Hinegardner and Engelberg, 1983), but increasing complexity is still the conventional wisdom. Clear statements that complexity increases can be found in the work of Stebbins (1969), Denbigh (1975), Papentin (1980), Saunders and

Ho (1976, 1981), Wake et al. (1986), Bonner (1988), and others. And lately the new thermodynamic school of thought has added its voice to the chorus: Wicken (1979, 1987), Brooks and Wiley (1988), and Maze and Scagel (1983) have all argued that complexity ought to and does increase in evolution. In my own experience, the consensus extends well beyond evolutionary biology and professional scientists. People seem to know that complexity increases as surely as they know that evolution has occurred. (McShea 1991:303-304)

El mismo McShea, señala que, a inicios de los 90's, existía mucho entusiasmo por la idea de que el incremento de la complejidad en la evolución biológica tenía algo que ver con la segunda ley de la termodinámica. Originalmente se percibía un choque irreconciliable entre la evolución de los seres vivos —vista como progreso, perfeccionamiento, complejización— y la evolución del universo físico descrita por la segunda ley —que decretaba una inexorable degradación de la energía y la tendencia hacia el desorden molecular—. Sin embargo, posteriormente, observaciones empíricas y modelos teóricos en termodinámica de sistemas alejados del equilibrio parecían mostrar que, en ciertas circunstancias, el cumplimiento de la segunda ley no sólo permitía sino impulsaba procesos evolutivos de complejidad creciente. A partir de esto, pareció posible explicar el incremento de complejidad como expresión de la segunda ley.

However, while much has been said about the role of non-equilibrium principle in complexity increase in prebiotic evolution (Prigogine et al. 1972, Wicken 1979, 1987), organismal ontogeny (Robson et al. 1988), speciation and diversification (Brooks and Wiley 1988), and ecological succession (Salthe 1985; Wicken 1987), clear discussions explicitly linking the Second Law and *morphological* complexity are hard to find. From what has been said, I have pieced together two possible versions of a thermodynamic argument.

One version begins with the observation that dynamic systems far from thermodynamic equilibrium spontaneously develop complex structure and that complexity increases as the systems grow and age (Salthe 1985, Wicken

1987). If evolutionary lineages are also far-from-equilibrium systems, then structural complexity might be expected to rise in all of them. (...)

In a second version, entropic change would lead to morphological complexity by promoting what Wicken calls “configurational disorder” (Wicken 1987, p.179). This disorder would have two consequences in evolutionary lineages: the building up of some morphologies by the addition of components (along with the breakdown of some others); and the scrambling of arrangements of existing components (in all lineages). Most disordering in most lineages would be disadvantageous, but some would be functional improvements, and these would tend to be preserved. Increasing complexity, in this version, consists of a raising of the upper level of functional disorder. (McShea 1991:307-308)

Habría que agregar otra versión que retoma planteamientos de Alfred Lotka para postular una explicación termodinámica del progreso evolutivo, sugiriendo que la selección natural favorece la proliferación de formas orgánicas que logran captar y procesar cada vez más energía (maximizando la potencia). Agregando que el incremento en el consumo energético es una condición necesaria para un incremento de complejidad, se obtiene una interpretación del llamado “principio de Lotka” que lo equipara al postulado de Rensch (1960) quien sugiere que la complejidad orgánica —entendida como la integración de partes heterogéneas formando un sistema mayor que se beneficia de la “división del trabajo” entre las partes especializadas— hace a los organismos más aptos para la supervivencia, más eficientes en la lucha por la vida, otorgándoles una ventaja selectiva sobre sus adversarios, lo que a largo plazo tendería a incrementar la complejidad de las especies. Bonner (1988) sostiene algo semejante, diciendo que la selección natural favorece incrementos del tamaño, lo cual puede hacer necesario un incremento de complejidad.

Encontrar en la segunda ley de la termodinámica alguna base para afirmar que el proceso evolutivo avanza en una dirección de creciente complejidad orgánica parecería implicar que el progreso hacia la complejidad es necesario. En el otro extremo, Stephen Jay Gould subraya la importancia del azar, los

accidentes y la contingencia en la historia de la vida, señalando que no necesariamente son los “más aptos” los que sobreviven: una y otra vez, grandes catástrofes han ocasionado la extinción de especies que, aunque tuvieron la mala suerte de estar en el lugar equivocado en el momento equivocado, podrían haber estado igual de bien adaptadas a sus ambientes que otras que sí sobrevivieron. En la interpretación de Gould —que ha sido muy influyente—, las especies no evolucionan avanzando en ninguna dirección específica, exploran todas las direcciones posibles y una mezcla de azar y selección natural se encarga constantemente de “podar el arbusto de la vida”. Así se explica tanto que hoy en día siga habiendo organismos simples (hay un umbral de complejidad mínima necesaria para que los organismos sean funcionales) y complejos (con el tiempo, incluso las formas más extraordinarias pueden surgir).

La evolución de organismos que reconocemos como “más complejos” a partir de otros “más simples” es un hecho autoevidente, pero esto no significa que la evolución en general avance en esa dirección. Se trata de casos particulares que existen en parte gracias a una historia llena de accidentes, contingencias y acontecimientos impredecibles. En la metáfora de Gould, si pudiéramos regresar en el tiempo y volver a “reproducir la película de la vida”, nuevas combinaciones de eventos azarosos conducirían al desarrollo de formas de vida enteramente distintas. No hay ningún progreso necesario hacia alguna dirección —y menos una evolución que necesariamente apunte hacia nuestra propia aparición—, hay una diversificación que avanza por múltiples caminos simultáneos, llenos de giros azarosos e impredecibles.

La ciencia ha sido lenta en admitir en su dominio el mundo explicativo y diferente de la historia. Y nuestras interpretaciones se han visto empobrecidas por esta omisión. La ciencia también ha tendido a denigrar a la historia, cuando se ha visto forzada a una confrontación, considerando que cualquier invocación de contingencia es menos elegante o menos significativa que las explicaciones basadas directamente en «leyes de la naturaleza» eternas. (Gould 2009:55)

Con todas sus diferencias, las interpretaciones aquí esbozadas tienen algo en común: toda la discusión está centrada en si *las especies* avanzan en un progresivo perfeccionamiento de sus *formas corporales individuales* o no, si hay incremento en la complejidad de *los organismos* o no. Se asume que la competencia entre organismos y entre especies es la dinámica fundamental a estudiar, lo que se discute es cuál es el resultado de esa dinámica fundamental. El paradigma metodológico de las “unidades mínimas” como centro del análisis limita el alcance de toda la discusión. A continuación presentaré un relato distinto de la evolución, discutiendo el progreso no en términos “atomistas” sino sistémicos, holísticos, ecológicos. Al hacer esto, será fundamental revisar nuevamente el trabajo de Alfred Lotka, pues sostengo que ha sido malinterpretado. Adelantándose a su época, no sólo hizo agudas observaciones sobre el vínculo entre selección natural y termodinámica de sistemas alejados del equilibrio, sino que fundó la ecología energética defendiendo una interpretación sistémica y ecológica a la hora de discutir la direccionalidad del proceso evolutivo:

Such phrases as “the passage from lower to higher forms” which are often used to describe the direction of evolution, are vague, and undoubtedly contain an anthropomorphic element. At best they give every opportunity for divergence of opinion as to what constitutes a “higher form”. If, on the other hand it is stated that evolution proceeds from simpler to more complex forms, or from less specialized to more specialized forms, then the direction of evolution is but poorly defined, for the rule is at best one with many exceptions. It should be particularly noted that all these efforts to specify the direction of evolution attempt to do so in terms of a single component of the evolving system. Such definitions of the direction of evolution are foredoomed to failure. It is the system as a whole that evolves, and we can hope to establish a definition of the direction of evolution only in terms of the system as a whole. (Lotka 1925:21-22)

2.2.4. Un planeta extraño

La comprensión termodinámica de la vida permitió también otro descubrimiento sorprendente. Financiados por la NASA para evaluar críticamente el tipo de estudios con los que se intentaba detectar la presencia de vida en Marte, James Lovelock y Dian Hitchcock sentían que tales estudios tenían un sesgo demasiado geocéntrico. “Buscaban vida parecida a la de la Tierra en un planeta que no se parece en absoluto a la Tierra. Dian y yo parecíamos invitados en una expedición para buscar camellos en el casquete glaciar de Groenlandia o para buscar peces entre las dunas del Sahara” (Lovelock 1995:82). Buscando una manera más general de detectar la vida, una que fuera capaz de reconocer cualquier forma de vida, Lovelock pensó buscar evidencias de sustancias o procesos en la atmósfera marciana que no pudieran explicarse solamente con la química inorgánica (tendiente al equilibrio termodinámico). “Analizando este problema, Lovelock llegó a la conclusión de que el hecho de que todos los organismos vivos tomen materia y energía y expulsen desechos era la característica de vida más general que podía encontrar” (Capra 1996:118). Sin necesidad de enviar ninguna nave espacial a Marte, Lovelock analizó la atmósfera marciana para encontrar que se encontraba muy cerca del equilibrio químico, indicio que —de acuerdo con la concepción termodinámica de la Vida— invita a rechazar la hipótesis de que exista vida en dicho planeta. En cambio, cuando Lovelock aplicó el mismo procedimiento para observar la Tierra —como si desde Marte intentara detectar la presencia de vida en la Tierra—

encontró que la química de la atmósfera terrestre [...] era del todo improbable. El metano [...] coexistía libremente con el oxígeno a una concentración 10^{35} veces mayor que la esperable. [...]

Teniendo en cuenta su tendencia a reaccionar con el oxígeno, algunos componentes de nuestra atmósfera —metano, amoníaco, sulfuros, cloruro de metilo— están lejos del equilibrio químico. El monóxido de carbono, el nitrógeno y el óxido nitroso son, respectivamente, diez, diez mil millones y diez

billones de veces más abundantes de lo que deberían. (Margulis y Sagan 2009:20)

Mucha gente piensa que la Vida fue increíblemente “afortunada” por haber aparecido en un planeta en donde todo es tan cómodo y adecuado para su evolución —pasiva—: la distancia con respecto al Sol permite un clima adecuado, ni muy caliente ni muy frío; la composición física del planeta (las sustancias que circulan en los océanos y la atmósfera) dispone todo lo necesario para la Vida (Lovelock 1995:80). Lovelock mostró que esto no es así: la vida ha construido activamente las condiciones que hacen a este planeta un lugar acogedor. Todo indica que la Tierra y sus planetas vecinos —Venus y Marte— tienen un origen común, se formaron a partir de una misma nube de polvo y gases durante el mismo periodo (Margulis 1995:102). Lo más probable es que, en un inicio, la atmósfera de la Tierra fuera fundamentalmente semejante a la de sus vecinos, las cuales están formadas actualmente por un 98% de dióxido de carbono, casi 2% de nitrógeno y mucho menos del 1% de oxígeno. En general, los gases²⁸ oxidantes reaccionan enérgicamente con los gases reductores hasta alcanzar un equilibrio químico: actualmente Venus y Marte sólo tienen gases oxidantes y neutros mientras que Júpiter y los gigantes gaseosos sólo tienen gases reductores (Lovelock 1995:86). La Tierra, en cambio, tiene una atmósfera químicamente inestable, una composición totalmente atípica que pareciera transgredir las leyes de la química y la física: como señala James Lovelock, encontrar una atmósfera ordenada como la de la Tierra sería como encontrar la concha de una tortuga pintada o un castillo de arena en una playa desierta (Margulis y Sagan 2009:20).

La relevancia de dicho descubrimiento no radicaba, evidentemente, en encontrar evidencias de que existe vida en la Tierra, sino en descubrir los enormes efectos que la Vida tiene sobre el planeta. Más aún: no sólo la composición de la atmósfera terrestre es químicamente inestable, sino que mantiene un equilibrio dinámico dentro de dicha inestabilidad (estado metaestable). Como un equilibrista

²⁸ Los gases atmosféricos se clasifican en tres tipos: gases oxidantes (como el oxígeno y el dióxido de carbono), gases neutros (como el nitrógeno y el monóxido de carbono) y gases reductores (como el metano, el hidrógeno y el amoníaco).

que compensa activamente, momento a momento, el balance de su peso corporal sobre una cuerda floja evitando la caída, la Vida regula activamente la composición atmosférica manteniendo la proporción de gases dentro de parámetros muy específicos. “¿Podía ser que la vida sobre la Tierra no sólo estuviese haciendo la atmósfera sino que además la estuviese regulando, manteniéndola en una composición constante y a un nivel favorable para la vida?” (Capra 1996:120). En el caso del oxígeno, por ejemplo, el porcentaje atmosférico debe haberse mantenido estable durante millones de años, dado que una pequeña reducción haría imposible la vida de animales e insectos voladores y un pequeño incremento volvería a la biosfera tan inflamable que incluso el detritus húmedo de una selva tropical se incendiaría con cualquier relámpago amenazando a toda la vegetación del planeta. El 21% resulta ser un punto de equilibrio bastante adecuado para la vida, equilibrio que es sostenido activamente por la vida misma. Si la vida se extinguiera, no quedarían sino leves rastros del oxígeno y nitrógeno atmosféricos; el metano, hidrógeno y amoníaco desaparecerían en pocos años, y el dióxido de carbono (sin los organismos consumidores de CO₂) se volvería dominante.

Sabemos por la química que el metano y el oxígeno reaccionan cuando son iluminados por la luz del Sol, y también la velocidad de dicha reacción. Con esta información, podemos concluir con seguridad que la coexistencia de los dos gases reactivos, metano y oxígeno, en un nivel constante, requiere un flujo de metano de 1,000 megatoneladas al año. Esta es la cantidad necesaria para reponer las pérdidas por oxidación. Además, también tiene que haber un flujo de 4,000 megatoneladas de oxígeno por año, porque ésta es la cantidad que se requiere para oxidar el metano. No existe ninguna reacción conocida por la química [inorgánica] que pueda fabricar estas enormes cantidades de metano y oxígeno empezando sólo con las materias disponibles, agua y dióxido de carbono, y utilizando la energía solar. Por lo tanto, debe de haber algún proceso en la superficie de la Tierra que pueda ordenar la secuencia de intermediarios inestables y reactivos de un modo programado para lograr este fin. (Lovelock 1995:83-84)

En el mismo sentido, la química sugiere que los océanos deberían estar saturados de sales en concentraciones que serían insoportables para las formas de vida no bacterianas. Sales como el cloruro sódico y el sulfato de magnesio, resultado de la erosión de los continentes, son transportadas continuamente por los ríos hasta los océanos. Sin embargo, los niveles de acidez-salinidad de los océanos del mundo se han mantenido estables por debajo de dichos límites durante al menos dos mil millones de años. Por otro lado, lo que sabemos sobre la vida de las estrellas indica que la radiación del Sol debe haber incrementado entre el 30 y el 50% desde los tiempos en que se originó la vida, lo que debería haber provocado un gran aumento de la temperatura superficial de la Tierra. Sin embargo, la temperatura de la biosfera se ha mantenido estable durante los últimos tres mil millones de años. De hecho, “la vida parece haber conseguido enfriar la superficie planetaria [...] eliminando de la atmósfera gases de efecto invernadero (como el metano y el dióxido de carbono) que retienen el calor. Pero también alterando la forma y el color de la superficie, la vida respondió para prolongar su propia supervivencia”. (Margulis y Sagan 2009:27)

Este tipo de descubrimientos llevaron a Lovelock a postular que la biósfera entera funciona como un sistema vivo, incluyendo mecanismos homeostáticos (reguladores) semejantes a los del metabolismo de un organismo. Decidió llamar a este sistema “Gaia”, retomando el nombre de la gran diosa madre que para los antiguos griegos era la Tierra personificada. Al sugerir que estos mecanismos homeostáticos tienen la *función* de mantener condiciones aptas para la vida, Lovelock se encontró no sólo con el desacuerdo y la crítica sino con la burla y el escarnio público por parte de muchos biólogos. La evolución es ciega —decían— no avanza con el propósito de construir ningún orden armonioso; las explicaciones teleológicas están prohibidas, no aportan nada bueno a la comprensión científica del mundo; los organismos compiten por su beneficio egoísta e inmediato, no por objetivos colectivos y a largo plazo. ¿Acaso se reúnen anualmente las plantas y animales en una asamblea planetaria para deliberar sobre las condiciones atmosféricas que resultan más convenientes para las mayorías? Si decir que la biósfera funciona como un ser vivo era arriesgado, ponerle a su teoría el nombre

de la antigua Madre Tierra era imperdonable. Dar un nombre propio —personificándola— a una entidad que, en todo caso, debería entenderse como un autómatas sin alma induciría ideas equivocadas en la gente, y peor aún, utilizar el nombre de una divinidad era ya el colmo anticientífico, Lovelock debería ser no sólo desterrado de la comunidad científica sino completamente desacreditado antes de que se convierta en falso gurú de un nuevo culto *New Age* en el que se interprete la evolución de la vida como un proceso guiado por la intencionalidad consciente y benévola de una deidad mitológica.

Actualmente, poca duda queda ya de que tales ciclos de autorregulación existen, sin embargo, la discusión en torno a su interpretación persiste. ¿Cómo entender su existencia? ¿Es posible que realmente tengan la función de mantener condiciones óptimas para la vida o decirlo así es un exceso interpretativo? ¿Es posible la articulación evolutiva de algo como Gaia a partir de un mundo en el que no hay nada más que bacterias egoístas, azar y selección natural?

2.2.5. Biósfera bacteriana

Si los mecanismos de autorregulación planetaria parecen algún tipo de magia, puede ser porque los protagonistas de esta obra son invisibles para nuestros ojos. En un inicio, el propio Lovelock no tenía idea de cómo los organismos de la Tierra podrían estar llevando a cabo estos procesos. Ahí fue cuando conoció a Lynn Margulis, quien estaba estudiando precisamente la producción de gases por microorganismos en la historia de la Tierra. Hasta hace poco todavía parecía que, en el largo periodo existente entre el origen de la vida y la aparición de los primeros animales multicelulares en el registro fósil, nada interesante había sucedido en el planeta, pero esto era así simplemente porque no teníamos los medios necesarios para conocer esta parte de la historia.

Si fuera verdad que las primeras formas de vida en el planeta surgieron en las profundidades del océano, lejos del contacto con la atmósfera y la luz solar, alimentándose de la energía química de las chimeneas volcánicas submarinas,

quedaría entonces la interrogante de cómo lograron salir de sus cuevas para colonizar el planeta entero. De acuerdo con Lynn Margulis, las primeras bacterias que se propagaron por el planeta tenían un metabolismo basado en la fermentación: descomponían azúcares y compuestos orgánicos similares para obtener energía química y alimento. Eran heterótrofas, es decir, obtenían su energía y nutrientes de compuestos orgánicos producidos por “alguien más” (en este caso, el ambiente). Como veíamos más arriba, este tipo de compuestos pueden formarse espontáneamente como resultado de procesos prebiológicos tales como la radiación solar, el calor terrestre y las descargas eléctricas (Margulis y Sagan 2009:77). La lluvia de meteoritos y polvo espacial que caía de manera continua sobre la Tierra (antes de que ésta tuviera la atmósfera que hoy los pone en ignición antes de tocar el suelo) pudo haber colaborado a que el planeta estuviera literalmente recubierto de una capa de azúcar. Cuando aparecieron bacterias capaces de aprovechar estas azúcares como fuente de energía, pudieron reproducirse exponencialmente en un planeta que, para ellas, estaba lleno de alimento. En este primer periodo de felicidad bacteriana ellas pudieron literalmente atiborrarse de dulces con alto contenido energético.

Para cualquier heterótrofo, la vida depende de la disponibilidad de alimento en el ambiente: si la energía no está ahí cuando se le necesita, el organismo entra en crisis y muere. Otra de las geniales innovaciones metabólicas de las bacterias fue el desarrollo de un mecanismo molecular de almacenamiento de energía. Con la fermentación de los compuestos hidrocarbonados preexistentes (azúcares) algunas bacterias comenzaron a producir moléculas de ATP —adenosintrifosfato—, una alquimia molecular que les permitió almacenar energía para utilizarla posteriormente en sus procesos autopoiéticos. Actualmente, *todos* los seres vivos conocidos almacenan energía en moléculas de ATP, por lo que podemos saber que somos todos descendientes de las exitosas bacterias que desarrollaron este proceso.

Sin embargo, en un momento dado “la presión de las poblaciones en crecimiento hizo que el alimento disponible se fuese agotando más deprisa de lo que se reponía [producido lentamente por los mencionados procesos abióticos].

La crisis era inevitable [...] Era sólo cuestión de tiempo que la primera oleada de bacterias heterótrofas tuviera que hacer frente a una crisis biológica.” (Margulis y Sagan 2009:78). En este punto crítico, la asombrosa creatividad metabólica bacteriana encontró una nueva y revolucionaria vía metabólica:

La vida fermentativa ya no podía contar con la menguante despensa planetaria. Obligados por el hambre, algunos fermentadores afortunados desarrollaron la facultad de fabricarse su propio alimento fundando así el gran linaje de las criaturas verdes y purpúreas. La innovación metabólica más importante en la historia del planeta fue la evolución de la fotosíntesis. Gracias a la fotosíntesis, la vida se liberó de la escasez energética: desde entonces ha estado limitada principalmente por la escasez de uno u otro material de construcción. La fotosíntesis apareció en las bacterias. Explotando la energía de la luz solar, estos primeros productores de alimento (probablemente bacterias verdes del azufre, como la actual *Chlorobium*) generaban alimento y energía útil para el resto de la biósfera. (Margulis y Sagan 2009:78)

Aprendiendo a aprovechar directamente la mayor fuente energética que existe en el sistema solar, los primeros fotoautótrofos fundaron la biósfera tal y como la conocemos hoy en día: como un enorme sistema vivo sostenido por la energía del Sol. En la fotosíntesis la energía de un fotón de luz visible excita un electrón en una molécula de clorofila, el cual transfiere la energía sobrante a una molécula de ATP (Margulis y Sagan 2009:80). Cubriendo los océanos arcaicos, la atmósfera primitiva era una generosa fuente de hidrógeno y dióxido de carbono. Así, mientras que los primitivos fermentadores tenían que vivir de migajas orgánicas cada vez más escasas, los primeros fotosintetizadores podían literalmente “surgir del aire”. (Margulis y Sagan 2009:80)

Al igual que las primitivas heterótrofas fermentadoras, las primeras fotosintetizadoras eran bacterias “anaerobias obligadas”, lo que significa que se envenenan inevitablemente en presencia del oxígeno. Esto no era un problema para ellas en aquel tiempo, pues la atmósfera primordial estaba libre (o prácticamente libre) de dicho gas: ninguna de las formas tempranas de

fotosíntesis generaba oxígeno, pero en el futuro, dicha situación iba a cambiar. En una nueva innovación metabólica, las bacterias fotosintéticas evolucionaron para obtener su hidrógeno descomponiendo el agua (dióxido de hidrógeno): asimilando la H del H₂O, liberaban oxígeno al ambiente. “Como el agua transparente era mucho más abundante que el maloliente sulfuro de hidrógeno, estas cianobacterias verdeazuladas podían crecer en cualquier parte donde hubiese agua y luz” (Margulis y Sagan 2009:81). El crecimiento desenfrenado de las cianobacterias se convirtió en un fenómeno global, desplazando a sus hermanas fotosintetizadoras de la región fótica de los océanos (el área iluminada por el Sol) que abarca los primeros doscientos metros desde la superficie. El oxígeno acumulado resultó fatal para la mayoría de formas de vida primitivas ocasionando una extinción masiva a escala global. Las cianobacterias fueron causantes de una de las transformaciones más ampliamente dañinas en la historia de la biosfera, exterminando a un sinnúmero de organismos.

En este punto, la innovación metabólica bacteriana volvió a darle un giro inesperado a la historia. Algunas bacterias desarrollaron mecanismos metabólicos para tolerar el oxígeno: produciendo enzimas como las catalasas, las peroxidasas y las superóxido-dismutasas, crearon amortiguadores químicos que reaccionaban con el oxígeno convirtiéndolo en sustancias inocuas y agua, evitando con ello el daño que de otra manera causaría sobre sus tejidos. Posteriormente, en uno de los más sorprendentes ejemplos de reciclado en la historia de la Vida, algunas bacterias desarrollaron mecanismos que les permitieron aprovechar positivamente lo que hasta ese momento constituía el contaminante más venenoso conocido. Explotando la gran reactividad del oxígeno, algunas bacterias comenzaron a utilizarlo para mejorar los procesos celulares de transformación de energía.

Mediante la oxidación del material que producían captando la energía lumínica, las bacterias purpúreas incrementaron su producción de ATP, el compuesto acumulador de energía —la “moneda” bioquímica usada por todas las células de todos los seres vivos—. Descomponiendo moléculas orgánicas y produciendo dióxido de carbono y agua, las bacterias canalizaron la combustión natural del oxígeno para sus propósitos. Mientras la fermentación

de una molécula de azúcar produce en promedio dos moléculas de ATP, con la evolución de la respiración la misma molécula de azúcar pasa a rendir nada menos que treinta y seis moléculas de ATP. Las nuevas bacterias —incluidos los ancestros de nuestras mitocondrias— eran quince veces más eficientes en la explotación de las moléculas de azúcar que sus predecesores anaeróbicos. (Margulis y Sagan 2009:105)

De esta manera, la Tierra se vio poblada de organismos fotosintetizadores —que utilizan fotones de luz solar para romper moléculas de agua y reducir el dióxido de carbono produciendo carbohidratos y oxígeno gaseoso— y organismos respiradores —que invierten el proceso aprovechando la oxidación química de los carbohidratos por el oxígeno—. Aprovechando el potencial reactivo de los gases reductores y oxidativos en ambas direcciones, la fotosíntesis y la respiración se articularon como dos procesos metabólicos complementarios, interdependientes —simbióticos²⁹—, que a partir de entonces constituirían el fundamento de la vida de incontables organismos, regulando al mismo tiempo la proporción de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera, gases cruciales para el mantenimiento de la temperatura y de la vida en el planeta.

El relato de Margulis permite observar que este complejo sistema de metabolismo y homeostasis planetaria no surgió como resultado de un diseño preconcebido, sino como un proceso de autoorganización a escala global resultado de la insistente búsqueda de organismos individuales por acceder a fuentes de energía y materiales con las que puedan autoconstruirse. Lo anterior ciertamente recuerda el modelo económico de Adam Smith (sin aceptar que el capitalismo-realmente-existente cumpla con lo que dicta el modelo). En vez de suponer que el asombroso “orden colectivo” de la ecología —un equilibrio dinámico— obedece al mandato de un Legislador supremo, es posible pensar modelos en los que el “buen diseño y el equilibrio general” surgen espontáneamente en un escenario en el que los organismos individuales buscan

²⁹ Cuando la vida de organismos de especies distintas se articula de manera complementaria e interdependiente se utiliza el término simbiosis (*sym*, ; *bios*, vida) para describir la relación.

su beneficio individual —mantener su autopoiesis—. Los modelos de competencia y selección natural sí pueden dar cuenta de la autoorganización en niveles superiores —desde los ecosistemas hasta la biósfera—, pero es necesario reconocer que la competencia y la eliminación de los rivales —el llamado “principio de exclusión competitiva”— no es la única dinámica que sostiene el proceso evolutivo. El éxito de los individuos no depende únicamente de sus méritos individuales ni de sus ganancias a corto plazo, sino también de su adecuada integración a las redes de interdependencia que los mantienen y de la sostenibilidad de tales relaciones a largo plazo. (De hecho, aunque muchos parecen pensar lo contrario, en una economía, el éxito *a largo plazo* de una empresa también dependería de toda una cadena que va desde la producción de materias primas hasta el procesamiento de sus desechos, partes del proceso que, si no son sustentables, terminarán por destruir las condiciones en que la empresa prospera..) Aunque algunos autores señalan que la selección natural sólo opera a corto plazo, la distinción “corto plazo” y “largo plazo” es relativa, lo que a nosotros puede parecernos largo plazo será corto a escala geológica. Por largo que parezca un plazo, eventualmente se cumplirá, y dinámicas que conduzcan a la eliminación de poblaciones, aunque sean lentas, finalmente las sacarán de la jugada.

El nivel de las relaciones ecológicas no puede reducirse a la competencia individual: es necesario ver todas las otras formas de interacción que articulan a los seres vivos como parte de sistemas mayores. El resultado del proceso no es solamente que los individuos más aptos eliminan a los menos aptos, sino que surge espontáneamente un orden colectivo en el que puede verse un “beneficio para la sociedad”, una *función* que podemos explicar sin recurrir necesariamente a una explicación en términos de propósito consciente (teleología).

Podemos hacer un relato distinto de la evolución de la vida en el que el progreso no se define en términos del perfeccionamiento de especies individuales en una carrera por ver cuál es “la más apta” para la supervivencia —como si al final pudiera haber *un* ganador—, sino en términos de una progresiva diversificación y articulación de los organismos para formar sistemas mayores

—sistemas ecológicos, “ecosistemas”—, los entramados de interdependencia que constituyen la Red de la Vida.

2.3. ¿Hacia dónde va la Vida?

2.3.1. Crecimiento limitado

Para visualizar este proceso en abstracto resulta muy útil retomar el extraordinario libro *Elements of Physical Biology* (1925) de Alfred Lotka en donde, utilizando herramientas de matemática estadística y demografía, logró tender puentes pioneros entre la termodinámica y la dinámica de poblaciones al interior de un ecosistema.

Partiendo de la observación de Boltzmann (quien, a su vez, tomó inspiración de Darwin), Lotka toma como premisa fundamental que los seres vivos se encuentran en una permanente búsqueda de energía y materiales para autoconstruirse y reproducirse, y que dado que éstos son finitos en el ambiente, la competencia por acceder a energía disponible será fundamental en la evolución del mundo biológico. Sin embargo, Lotka toma como unidad de análisis *poblaciones* de organismos y analiza su desarrollo desde una perspectiva ecológica-energética-evolutiva, lo que le conduce a conclusiones muy interesantes.

Para el argumento que voy a desarrollar aquí, comencemos observando que el éxito que tenga una población de organismos en su búsqueda de energía y materiales para autoproducirse y reproducirse tendrá necesariamente un impacto sobre el ambiente: en la medida en que ciertos organismos se multipliquen, los materiales y la energía que ellos consumen se irán agotando proporcionalmente, en cambio, la presencia de los compuestos que constituyen sus cuerpos y el tipo

de desechos que ellos produzcan aumentará proporcionalmente (como ocurre, análogamente, en la autocatálisis³⁰, también estudiada por Lotka).

Decir simplemente que el éxito adaptativo de una población de organismos (o una especie) es directamente proporcional a su éxito reproductivo —decir que mientras más se multipliquen, más exitosos son— parecería implicar que el ideal de “éxito” o el objetivo evolutivo es la multiplicación infinita de los organismos, el crecimiento infinito de las poblaciones, para lo cual serían necesarios infinita energía e infinitos materiales. Lo que observamos en la naturaleza es lo contrario: los organismos, tarde o temprano, encuentran límites en las fuentes de energía y los reservorios de materiales que existen en sus ambientes.

En ocasiones, poblaciones de organismos encontrarán en sus ambientes fuentes de energía y reservorios de materiales tan grandes que, por un tiempo, podrán parecer infinitos, pero no lo son. En este tipo de situaciones, podemos observar el famoso “crecimiento exponencial” de las poblaciones. Cada individuo puede dividirse para dar lugar a dos nuevos individuos, los cuales a su vez pueden dividirse para formar cuatro, luego ocho, dieciséis y así sucesivamente... En cada nueva generación, la velocidad de reproducción de la población se duplica, lo que da lugar a la conocida curva de crecimiento exponencial. En términos de teoría de sistemas, vemos aquí operando un sencillo mecanismo de retroalimentación positiva (*feedback* positivo): la reproducción de las unidades reproductivas acelera más y más la velocidad de reproducción de la población con lo que el crecimiento del sistema se acelera progresivamente a sí mismo. Esta cualidad auto-aceleradora despertó justificadamente las preocupaciones de Thomas Malthus en el siglo XIX quien vio que, de

³⁰ Los procesos autocatalíticos son intrínsecamente autopromotores. Ulanowics subraya la importancia de tales procesos en biología. Cualquier crecimiento dentro de una red autocatalítica, sea viva o no, sea parte de un ciclo prebiótico o de un ecosistema más que humano, puede engendrar un crecimiento del sistema *entero*, asumiendo, por supuesto, que los materiales requeridos están disponibles. Aunque a veces puedan asemejarse a la habichuela mágica del cuento, que crecía por encima de las nubes, las redes autocatalíticas no pueden crecer indefinidamente. Hay procesos de retroacción negativa derivados de la física, la química y la biología que contrarrestan la tendencia al crecimiento sin freno. Los factores limitantes de los sistemas biológicos incluyen el espacio, el alimento e incluso la gravedad (Schneider y Sagan 2008:140)

este modo, las poblaciones en “crecimiento malthusiano” —como a veces se le llama— avanzarían cada vez más rápido hasta eventualmente rebasar los límites de abastecimiento que las sostienen. Algo así es lo que parece haber sucedido cuando las bacterias fermentadoras se encontraron un planeta entero recubierto de azúcares: las reservas de alimento parecían infinitas, pero el crecimiento exponencial de sus poblaciones terminó por agotarlas. El reservorio de azúcares era resultado de una larga y muy lenta acumulación, la tasa de reposición no podía sostener el nivel de consumo de las enormes poblaciones que resultaron del periodo de crecimiento exponencial, por lo que cuando alcanzaron el límite sobrevino el colapso (posteriormente, el incremento de oxígeno atmosférico interrumpió la producción abiótica y acumulación de azúcares al aire libre).

Podríamos imaginar casos en que las poblaciones crecerán hasta alcanzar el agotamiento total del recurso del que se alimentan, sea porque de hecho se trata de una reserva finita sin reposición posible o porque la tasa de reposición es tan baja que no puede sostener una población estable. Las poblaciones tendrán que encontrar otra fuente de energía/materiales o se extinguirán definitivamente. En otros casos, tras el colapso, la situación de crecimiento exponencial y sobrepoblación será reemplazada por una situación de crecimiento limitado y población estable: si la tasa de reposición del recurso es lo suficientemente rápida para sostener al menos una pequeña población, las enormes poblaciones que pudieron surgir cuando las reservas eran abundantes serán reemplazadas por pequeñas poblaciones capaces de sobrevivir con la limitada producción/reposición que la fuente es capaz de aportar de manera continua.

La situación en torno a las chimeneas submarinas nos permite visualizarlo más fácilmente: éstas proporcionan una fuente bastante continua y estable de energía que puede durar relativamente mucho tiempo. Sin embargo, en cada momento, el aporte energético es limitado. Las poblaciones de bacterias quimioautótrofas capaces de aprovechar esta energía crecerán hasta un tamaño máximo definido en función de la cantidad de energía que suministra la chimenea por segundo y de la capacidad metabólica de los organismos para canalizar un porcentaje (limitado) de esta energía hacia sus procesos autopoiéticos. Siendo ésta la única fuente de energía aprovechable con ese particular tipo de procesamiento metabólico (el cual

tiene una eficiencia energética determinada), la población no puede crecer más allá de este punto máximo: hay límites para el crecimiento. Encontramos aquí un sencillo mecanismo de retroalimentación negativa (*feedback* negativo) en el sistema formado por los organismos y sus fuentes de energía/materiales: conforme crecen las poblaciones disminuye la disponibilidad de la energía y los materiales de los que se alimentan, con lo cual la población puede disminuir (organismos mueren por falta de alimento), entonces la disponibilidad de alimento vuelve a incrementarse y la población puede crecer nuevamente hasta cierto umbral. (En realidad, las poblaciones no siempre crecerán hasta rebasar con los límites absolutos de la biocapacidad y colapsar maltusianamente.) De esta manera, en torno a una fuente estable y continua, las poblaciones tenderán a estabilizarse en torno a un nivel máximo de aprovechamiento de la energía.

Si los organismos son capaces de migrar y colonizar chimeneas aledañas que no estaban siendo habitadas, podrán expandir su población pero nuevamente encontrarán límites. Cuando todas las chimeneas susceptibles de albergar vida estén siendo ya ocupadas, este tipo de crecimiento alcanzará un límite definitivo. Ahora bien, si la fuente de energía (o cualquier otro factor limitante) no es estable sino fluctuante, las poblaciones deberán ser capaces de fluctuar con ella o morirán; si la fuente se interrumpe, las poblaciones morirán a menos que puedan entrar en estados de latencia, suspendiendo su metabolismo hasta que nuevas fuentes de energía aparezcan.

Cuando las bacterias desarrollaron la fotosíntesis, lograron aprovechar una nueva fuente de energía que parecería infinita, pero no lo es.³¹ La cantidad de radiación solar que impacta sobre la superficie planetaria cada segundo es limitada: pese a lo vasto de la región fótica de los océanos el crecimiento exponencial de poblaciones de fotosintetizadores también alcanzaría un límite en una situación plenamente análoga a la de las chimeneas submarinas. La cantidad de energía solar por segundo que los organismos fotosintetizadores son capaces

³¹ Es un hecho que el Sol tiene una cantidad finita de “combustible” que también un día llegará a su fin, sin embargo, el plazo de tiempo en que esto ocurrirá es tan largo que por el momento podemos considerarlo irrelevante: en este sentido, para la vida de los organismos individuales, la energía del Sol parece infinita.

de aprovechar tiene un límite a nivel planetario. En muchos casos los fotosintetizadores no llegarán a aprovechar toda la energía disponible por limitaciones en el suministro de materiales, por ejemplo: necesitan carbono para captar la energía solar, y si el carbono se agota, entonces no podrán captar más energía aunque, en principio, ésta esté disponible en el ambiente. De entre los diferentes elementos (materiales y energéticos) necesarios para la subsistencia de un organismo o población, el primero que escasee será el que imponga el límite al crecimiento. Lotka presenta modelos matemáticos para representar lo anterior en términos de “factores limitantes” del crecimiento de una población, trazando una analogía con la dinámica observable en la autocatálisis.

In general, the several components that promote the growth of the component S_1 will be presented in varied abundance. If one essential component (or a group of components which jointly are essential) is presented in limited amount, any moderate increase or decrease in the ample supply of the other components will have little or no observable influence upon the rate of growth of S_1 . An essential component presented in limited supply thus acts as a check or brake, as a limiting factor, upon the growth of S_1 . The significance of such limiting factors seems to have been first pointed out by Liebig (Lotka 1925:97)

Tal como Darwin entendió (inspirándose en las observaciones de Malthus), es precisamente el hecho de que los recursos son limitados lo que da origen a la competencia entre los organismos: en un escenario de recursos infinitos no habría necesidad de competencia alguna. El potencial reproductivo de los organismos—incluso de los autótrofos, capaces de sintetizar su propio alimento— depende de las condiciones ecológicas: la disponibilidad de energía/materiales aprovechables y la presencia de otros organismos en el ambiente.

2.3.2. El principio de Gause

Se ha señalado que, durante los periodos de crecimiento rápido en los que hay abundancia de energía y materiales, los organismos que logran maximizar su tasa reproductiva ganan la carrera por los recursos disponibles. Reproduciéndose más rápido que los demás —incluso a costa de cierto despilfarro de recursos— consiguen acaparar la mayor parte de la energía y materiales. Aquellos que se reproducen más lentamente serán desplazados e incluso pueden desaparecer completamente. Se llama “principio de exclusión competitiva” a un modelo utilizado para describir esta situación. Formulado originalmente por Gause (1934), afirma que especies que compiten por los mismos recursos no pueden coexistir indefinidamente, sino que una terminará por extinguirse. Más recientemente, el llamado “principio de Gause” ha sido reformulado y ampliado por Odum para decir que:

Durante los periodos de crecimiento rápido, mientras las fuentes de energía son relativamente ilimitadas, y cuando no existen otros controles, un sistema acelera su crecimiento más rápidamente que otro. El efecto se acumula hasta que uno de los dos elimina al otro: uno sobrevive y el otro no lo hace. El que sobrevive, por medio de su crecimiento acelerado, logra captar los recursos energéticos del otro. (Odum y Odum 1981:66)

Bajo estas condiciones, la competencia conduciría hacia ecosistemas habitados por poblaciones con la máxima tasa de crecimiento posible, pero al mismo tiempo que maximiza el crecimiento de la biomasa (el volumen de materia que está siendo empleado por los sistemas vivos) maximiza el consumo de recursos. El permanente impulso de la vida hacia la diversificación de los organismos generará continuamente nuevas variedades, sin embargo, de acuerdo con este principio, por selección natural los que se reproduzcan más rápido serán los que predominen. En este caso, la selección natural conduciría hacia la eliminación de la diversidad: las variedades maximizadoras desplazarán e incluso podrían eliminar al resto. El “principio de exclusión competitiva” describe una dinámica en la que la selección tiene como resultado una transformación direccionada: en este

caso, tendería a modificar las poblaciones de manera que estén compuestas por organismos maximizadores.

Esta visión de los organismos en una carrera desenfrenada por la máxima tasa de reproducción posible y por el acaparamiento de los recursos disponibles se ha tomado como paradigma de la selección natural, como si la evolución darwiniana siempre procediera de este modo, con la supervivencia de los más fuertes eliminando a sus competidores. Según esto, a largo plazo, el resultado del proceso debería ser que la diversidad de organismos terminara por ser dominada por una sola especie, la “más apta” para la supervivencia (asumiendo que maximizar la tasa reproductiva implica mayor aptitud). Sin embargo, esto no necesariamente ocurre así. El principio de exclusión competitiva es un modelo que asume que los ambientes son homogéneos por lo que una especie tendrá sistemáticamente ventaja sobre la otra pero, en realidad, los ecosistemas son mosaicos heterogéneos y fluctuantes en los que se alternan parches con distintas condiciones dando ventaja a distintos organismos. La variabilidad ambiental puede evitar que una especie llegue a eliminar a su rival si existen lugares y/o momentos en que la especie “débil” pueda al menos escapar temporalmente. Y en ocasiones, poblaciones marginales pueden remontar cuando las condiciones ecológicas cambian. La selección natural cambia de reglas según sean las condiciones ecológicas.

Conforme las poblaciones se acercan a los límites de los recursos disponibles, la situación se vuelve bastante distinta. Las poblaciones no pueden seguir creciendo. De entre la diversidad de recursos que necesitan para mantenerse con vida y reproducirse, el primero que escasee será el que marque el tamaño máximo que la población puede alcanzar. Si dicho recurso proviene de una fuente estable, la población podrá estabilizarse una vez que alcance un tamaño tal que los recursos se agotan tan rápido como aparecen. En estas condiciones, ya no serán los organismos maximizadores —quienes no escatiman energía sino que incluso pueden despilfarrar a costa de maximizar su tasa de reproducción— los que tengan ventaja. Bajo las nuevas reglas, los “ganadores” no serán quienes exploten más rápidamente los recursos sino quienes lo hagan de manera más eficiente.

Lógicamente, quienes logren cumplir su autopoiesis y reproducirse necesitando una menor cantidad de esos recursos, encontrarán más fácilmente lo que necesitan para vivir y reproducirse: la selección natural favorecerá a quienes hagan un uso más eficiente de aquellos recursos que se encuentren de manera limitada. Los organismos con menor eficiencia requerirán de mayores insumos que sus competidores para vivir y reproducirse, y en ambientes donde no puedan encontrarlos, morirán dejando espacio para los organismos más eficientes. Podríamos decir que aquí también hay un efecto de “exclusión competitiva”, sólo que ahora opera con otras reglas: quienes tienen ventaja son los más eficientes para aprovechar los recursos y no quienes los agotan más rápidamente. Los organismos se van volviendo especialistas en aprovechar de la manera más eficiente los recursos disponibles.

Las fases de crecimiento exponencial pueden existir mientras las poblaciones se encuentran lejos de topar con los límites ecológicos, sin embargo, estos límites siempre existen y mientras más rápido crezcan las poblaciones más rápido los encontrarán. Resulta más adecuado tratar los periodos de crecimiento rápido como una fase acotada y transitoria, no como si fueran la regla general. En la naturaleza, las fuentes de energía y los reservorios de materiales son finitos, los ambientes tienen una capacidad de carga limitada (definida en relación con la eficiencia energética de las poblaciones).

Hay que observar que un incremento de eficiencia tiene como efecto neto un crecimiento de la población hasta alcanzar un nuevo máximo posible bajo las condiciones existentes: una fuente de energía estable (con un aporte limitado por segundo) puede sostener una población máxima de ciertos organismos pero, si aparecen organismos más eficientes, la misma fuente puede sostener una población mayor. Siempre podemos imaginar la aparición hipotética de una nueva innovación metabólica que haga posible —en un futuro imaginario— un uso aún más eficiente de la energía, con el consecuente incremento de la biomasa y del aprovechamiento total de la energía disponible, sin embargo, es razonable pensar que haya límites físicos-metabólicos en cuanto a la cantidad de energía y recursos que los sistemas vivos pueden aprovechar. De cualquier manera, lo que es un

hecho es que, en la realidad, en cada momento presente, considerando una determinada fuente de energía (cuyo flujo será necesariamente limitado) y considerando un tipo particular de procesamiento metabólico (cuya eficiencia también será limitada), las poblaciones no pueden crecer más allá del límite establecido por estas variables: energía disponible y eficiencia energética (metabólica). Si entre las variedades existentes ya ninguna es capaz de hacer un uso más eficiente de los recursos, entonces la población se estabiliza: ya no hay recursos para alimentar más organismos de esta manera. Sin embargo, puede haber otras maneras.

2.3.3 Diversificación y articulación

El permanente impulso evolutivo hacia la diversificación —la creatividad intrínseca de la vida— implica que, de vez en cuando, ciertos organismos conseguirán aprovechar una fuente de energía o materiales que anteriormente no se estaba aprovechando. Esto es lo que en ecología se conoce como encontrar y ocupar un nuevo “nicho”. A veces se trata de una fuente de energía/materiales completamente nueva (como en el caso de la fotosíntesis), algo que ya estaba en el ambiente y que simplemente no había sido aprovechado. Sin embargo, frecuentemente se trata de innovación en el aprovechamiento de elementos cuya presencia en el ambiente es resultado de la autopoiesis de otros seres vivos. En un ambiente poblado de organismos exitosos para alimentarse y reproducirse (sean cianobacterias en la región fótica del mar o bacterias del azufre en torno a las chimeneas submarinas) otros organismos que evolucionen para alimentarse de los primeros podrán vivir y reproducirse también, asimilando las moléculas orgánicas y energía que los primeros habían acumulado para su propia autopoiesis. Dependiendo de la forma en que esto ocurra podemos decir que es un caso de depredación, parasitismo, comensalismo, etc.

El éxito autopoiético-reproductivo de ciertos organismos también implica un aumento en la presencia ambiental del tipo particular de desechos que éstos

produzcan. Como ya dije, la autopoiesis de cualquier organismo implica una continua disipación de energía y producción de desechos. En general, parece que la energía que un organismo disipa en forma de calor no es suficientemente concentrada para sostener otro ciclo autopoietico, se necesitan fuentes de alta calidad y baja entropía³². Pero en el caso de materiales, los desechos de otros organismos normalmente sí pueden aprovecharse en nuevos ciclos (la creatividad metabólica se encarga de lograrlo). Lotka menciona tres tipos de organismos (*scavengers, saprophagous, saprophytic*) cuya autopoiesis se sostiene a partir de los desechos de otros organismos, que pueden ser tanto subproductos residuales de su metabolismo o los cuerpos muertos que quedan disponibles en el ambiente.

A third type of interdependence is that in which S2 is saprophagous or saprophytic, feeding upon the cadavers of S1 after death from other causes, or S2 may live on waste products discharged by S1. In contrast to episites and parasites, saprophagous species are presumably beneficial rather than injurious to the host species, since they function as scavengers. Still another type of interdependence is that of symbiosis, in which S1 and S2 live in partnership which, as a rule, is in some degree mutually beneficial. (Lotka 1925:77)

³² La clase de energía requerida por los organismos para mantener sus cuerpos, su metabolismo, está estrictamente limitada. La lista incluye luz (fotoautótrofos) energía química orgánica (heterótrofos) y un número muy limitado de fuentes de energía química inorgánica (la oxidación de sulfuros a azufre o sulfatos, de metano a dióxido de carbono, de amoníaco a compuestos nitrogenados oxidados, de hidrógeno a agua). El calor, un producto de desecho termodinámico más o menos equivalente a la entropía, no está en esa lista. Los organismos también necesitan materiales para construir sus cuerpos. La energía se consume; el nutrimento se transforma en la materia prima del cuerpo. Una de las razones por las que tendemos a confundirnos sobre esto es que el metabolismo animal no distingue entre nutrimento y energía. En los animales la fuente de energía y de nutrimento es la misma (la materia orgánica). En las plantas, en cambio, las fuentes de energía y nutrimento son diferentes: la luz solar es la fuente de energía, mientras que el dióxido de carbono, convertido químicamente en azúcares y otras sustancias, es la fuente de nutrimento. Finalmente, si la fuente de nutrimento es el dióxido de carbono, hace falta una fuente de electrones (átomos de hidrógeno) para reducir el carbono y convertirlo en material celular. (Schneider y Sagan 2008:235)

El éxito reproductivo de un organismo puede resultar en una modificación del ambiente que posteriormente, como una consecuencia no prevista, pueda ser aprovechada por otros organismos. Como en el ejemplo del oxígeno atmosférico, el impulso hacia la diversificación puede generar maneras inesperadas de aprovechar como “recursos” elementos ambientales que para otro organismo son “desechos”. De esta manera nuevos nichos son creados y ocupados sucesivamente, articulando cadenas tróficas en las que los productos-desechos de un organismo son recursos para otro. Se trata de un verdadero proceso de ensamblaje de ecosistemas. Cada vez que se ocupa un nuevo nicho podemos encontrar la misma dinámica arriba expuesta: puede presentarse un periodo inicial de crecimiento exponencial con abundancia de recursos, fase en la cual los maximizadores pueden tener ventaja, para pasar después a una fase de crecimiento limitado en la cual los organismos más eficientes tendrán ventaja.

A diferencia del flujo continuo de energía desde una fuente externa (el sol), los materiales disponibles para los procesos biológicos provienen de reservas finitas (el aporte de materiales desde el espacio es, en general, insignificante; la biósfera es un sistema cerrado), por lo tanto, las cadenas tróficas tienden a cerrarse sobre sí mismas de manera que se forman ciclos de reciclaje de materiales. Estos ciclos pueden incluir cualquier número de intermediarios. En el caso del intercambio de carbono y oxígeno entre fotosíntesis y respiración, dos procesos son suficientes para cerrar el ciclo y permitir un reciclaje continuo de dichos materiales. Reservorios finitos de materiales pueden ser así reciclados una y otra vez, siempre y cuando existan las fuentes de energía necesarias para los procesos metabólicos que llevan a cabo el reciclaje.

El establecimiento de ciclos de reciclaje en un ecosistema puede, a su vez, incrementar la productividad total. Supongamos que para una población de fotoautótrofos, el límite de crecimiento estaba marcado por la disponibilidad de carbono. Con la evolución de organismos respiradores de oxígeno —quienes producen como desecho dióxido de carbono—, se crea un ciclo de reciclaje que incrementa la cantidad de carbono que está circulando por el sistema. De esta manera, los nuevos niveles de disponibilidad de carbono (producto del operar del

propio sistema ecológico) permiten una población mayor de fotoautótrofos, quienes convierten una mayor cantidad de energía en materia orgánica, desencadenando un crecimiento neto de todo el sistema hasta estabilizarse en torno a los nuevos límites.

2.3.4. El principio de Lotka

Es en este contexto que debemos abordar la discusión en torno al llamado “principio de Lotka”, especialmente importante para la presente discusión porque postula una direccionalidad para el proceso evolutivo. En un breve artículo titulado *Contribution to the energetics of evolution* (1922) Lotka resumió dicho postulado diciendo:

En todo instante considerado, la selección natural va a operar de tal manera que se incremente la masa total del sistema orgánico, la tasa de la circulación de la materia a través del sistema y el flujo energético total a través del sistema, en tanto haya disponible un residuo no utilizado de materia y energía. (1922:148)

En otro punto del mismo texto (1922:149), Lotka señala que se trataría de una “ley natural” que describe una dinámica direccional en la evolución de los “sistemas orgánicos”, en donde la tasa del flujo de energía tiende al máximo (lo que también se asocia con la aceleración de la circulación de materiales) “hasta donde sea compatible con las limitaciones impuestas al sistema” (1922:148).

En los años setenta, H. T. Odum —fundador de la escuela emergética— retomó y reformuló dicho principio, a partir de lo cual diversos autores lo han considerado como un principio fundamental para entender la dinámica evolutiva en términos energéticos (algunos incluso han defendido que debería considerársele como la 4ª ley de la termodinámica). Dado que la potencia [*power*] es una unidad que mide la tasa del flujo de energía, éste principio también se ha conocido como el “principio de la máxima potencia”. En su reformulación, Odum habla de maximización en términos de “emergia”, a partir de lo cuál él y su equipo hablan

de un “principio de la máxima potencia emergética”³³. A primera vista parecería que sólo se está sustituyendo la variable del principio, sin embargo —como argumentaré— reemplazar potencia (flujo de energía por unidad de tiempo) por potencia emergética (flujo de emergía por unidad de tiempo) no es la principal modificación que introdujo Odum al reinterpretar el principio de Lotka. En uno de sus primeros escritos al respecto, Odum decía que:

En los procesos de autoorganización, los sistemas que prevalecen son aquellos que se desarrollan para maximizar la captación de energía, la transformación de energía, y aquellos usos que refuerzan la producción y la eficiencia. (en Hall 1995)

En trabajos posteriores, Odum omitió la segunda parte —la que hablaba de eficiencia— diciendo solamente que “en los procesos de autoorganización, los sistemas desarrollan aquellas partes, procesos y relaciones que maximizan la potencia emergética utilizable” o, aún más sucintamente, “los diseños que prevalecen son los que maximizan la potencia emergética” (en Sciubba 2011). En

³³ Odum introdujo el término *energy* (emergía) como abreviación de *embodied energy* (energía incorporada) como una forma de considerar la historia de transformaciones de energía necesarias para un determinado producto humano o natural. Por ejemplo, Odum observaba que para que podamos convertir en trabajo un joule de energía obtenida a partir de carbón o petróleo, fue necesario un proceso de acumulación de energía solar por la biota fotosintética del pasado en combinación con fuerzas geológicas actuando sobre tiempos largos. Desde esta perspectiva, aunque en cierto sentido un joule de energía solar es equivalente a un joule de energía fósil, la cantidad de energía solar necesaria para obtener un joule de energía fósil es mucho mayor. En este sentido, Odum y los teóricos de la emergía hablan de una jerarquía de energías que se distinguen por su calidad, y que pueden compararse unas con otras en términos de un factor de equivalencia que denominan transformicidad. Odum y sus discípulos consideran que, para analizar la dinámica energética de los ecosistemas —incluyendo la participación humana dentro de los mismos— resulta más adecuado hablar siempre en términos de emergía solar, como referencia necesaria para comparar adecuadamente los distintos flujos de energía que se dan en dicha dinámica. Y de la misma manera en que podemos considerar los flujos de energía con relación a una unidad de tiempo para hablar de potencia (*power*), ellos hablan de “potencia emergética” (*em-power*) como el flujo de emergía por unidad de tiempo. Así, Odum reformula el principio de Lotka como “principio de la máxima potencia emergética” (*maximum em-power*).

este mismo sentido, los teóricos de la emergía han tomado como principio fundamental la afirmación de que “en la competición entre procesos autoorganizativos, prevalecen las relaciones y diseños que maximizan la captura y el uso de la potencia emergética” (en Lomas, Di Donato y Ulgiati 2007).

El interés despertado en torno al principio de Lotka se produjo luego de que H. T. Odum —una de las figuras que más han aportado a la ecología energética— lo redescubriera, por lo que su particular lectura del mismo ha sido la referencia fundamental para la discusión (al punto que, en algunos círculos, se le conoce como “principio Lotka-Odum”). Aunque no todos han adoptado la terminología energética, la exégesis de Odum y los teóricos de la emergía ha sido muy influyente en otro sentido. Como puede verse en las citas anteriores, los enunciados del “principio de la máxima potencia” se parecen —cada vez más— a las del principio de Gause, el ya citado “principio de exclusión competitiva”. Como ya vimos³⁴, el principio de exclusión competitiva habla de competencia entre organismos y especies; Odum interpretó que el principio de Lotka también aplica en este nivel; yo sostengo que esto es un error con importantes repercusiones.

En las formulaciones de Odum y los emergistas se habla de que aquellos “sistemas”, “procesos” o “diseños” que maximicen el flujo energético tendrán ventaja sobre sus competidores, con lo cual, de manera ambigua, se refieren desde organismos y especies individuales hasta ecosistemas. De esta manera, aplicado al nivel de organismos y especies, el principio de Lotka explicaría un proceso evolutivo de progresivo incremento de la energía captada y procesada por los mismos. Actualmente, aunque hay discusión en torno a esta idea, en gran medida la discusión se sitúa en lo que tradicionalmente se considera como el nivel fundamental del proceso evolutivo: la competencia entre organismos y entre

³⁴ Como ya vimos, en palabras del mismo Odum, el principio de exclusión competitiva dice que:

Durante los periodos de crecimiento rápido, mientras las fuentes de energía son relativamente ilimitadas, y cuando no existen otros controles, un sistema acelera su crecimiento más rápidamente que otro. El efecto se acumula hasta que uno de los dos elimina al otro: uno sobrevive y el otro no lo hace. El que sobrevive, por medio de su crecimiento acelerado, logra captar los recursos energéticos del otro. (Odum & Odum 1981:66)

especies. Se discute si la selección natural realmente favorece la maximización de la potencia o la maximización de la eficiencia, pero los ejemplos utilizados para argumentar a favor o en contra muchas veces son sobre competencia entre organismos individuales o especies.

En *Hombre y Naturaleza: Bases Energéticas*, Odum y Odum recurren también a un ejemplo de competencia entre negocios para explicar el principio de la máxima potencia (recordemos que Darwin se inspira en el individualismo de Adam Smith para su modelo de competencia entre organismos como átomos biológicos).

El principio de competencia para el mejor uso de la energía explica por qué algunos sistemas energéticos sobreviven a otros. Estamos acostumbrados a este principio, ya que es el que se aplica en la competitividad en los negocios. Consideremos cualquier manufactura: la compañía que fabrica el mejor neumático por menos dinero sobrevivirá ya que vende más y emplea sus ganancias para generar nuevos flujos adicionales de energía. Un negocio que tiene éxito maximaliza sus flujos energéticos y produce más. (Odum y Odum 1981:33)

Encontramos aquí nuevamente que, aunque al hablar de “el mejor uso de la energía” o de “fabricar el mejor neumático por menos dinero” pareciera sugerir una idea de eficiencia energética como ventaja competitiva, Odum concluye que los negocios exitosos son los que “maximizan sus flujos energéticos”. De esta manera, siendo aparentemente consciente de la tensión entre eficiencia y maximización del flujo energético³⁵, Odum se inclina por tomar la segunda como principio general de la evolución (de otro modo hablaría, quizá, de un “principio de la máxima eficiencia”). Como veremos a continuación, “maximizar el flujo energético que atraviesa el sistema” implica maximizar tanto la captación de

³⁵ La misma tensión se percibe cuando Odum señala —en la misma página en la que pone el ejemplo de los negocios— que “los sistemas que sobreviven en la competencia entre alternativas diferentes son los que desarrollan un flujo de entrada mayor y emplean éste de la mejor manera para encontrar la forma de sobrevivir”, y —en el siguiente párrafo— que “los sistemas que sobreviven son los que maximizan el empleo de los recursos de energía que entran” (Odum y Odum 1981:33)

energía disponible como maximizar la tasa de su conversión en trabajo (lo cual incrementa la disipación y la tasa de producción de entropía), en cambio, maximizar la eficiencia implica minimizar los inputs de energía disponible y minimizar la disipación necesaria para cumplir determinado objetivo (lo que también implica una disminución de la tasa de producción de entropía). No es posible hacer ambas cosas al mismo tiempo. Odum y sus discípulos se adhieren a la idea de que el principio de Lotka dice que los organismos que tendrán ventaja en la selección natural son los que maximizan el flujo de energía, por lo que el proceso evolutivo en general apuntará hacia la predominancia de organismos que maximizan su captación y disipación de energía³⁶.

En un artículo titulado *What did Lotka really say? A critical reassessment of the "maximum power principle"* (2011), Enrico Sciubba argumenta en sentido opuesto. Regresando a revisar los textos originales de Lotka, Sciubba afirma que no es posible extraer de ellos un "principio de máxima potencia emergética", por lo que esto no es en realidad lo que Lotka quiso decir. Comienza destacando que, siguiendo a Boltzmann, cuando Lotka hablaba del "flujo de energía" se refería de manera consistente a la energía disponible o exergía, por lo que su principio debería discutirse en dichos términos³⁷. Pero más allá de lo que Lotka haya dicho, Sciubba señalaba —en el año 2011— que no hay un trabajo científico publicado que aporte pruebas empíricas que confirmen definitivamente la validez del principio de máxima potencia emergética (Sciubba 2008:1347). Más aún, Sciubba señala que la evidencia disponible contradice la interpretación emergética:

³⁶ Supeditando nuevamente eficiencia ante maximización del flujo energético, Odum y Pinkerton (1995) señalan que "natural systems tend to operate at that efficiency which produces a maximum power output" y que "these systems perform at an optimum efficiency of maximum power output, which is always less than the maximum efficiency".

³⁷ De acuerdo con Sciubba, la discusión va más allá de la mera terminología, pues sostiene que los marcos de referencia de los teóricos de la emergía y los teóricos de la exergía son inconmensurables entre sí. Dice que el hecho de que el concepto de "disipación" esté ausente en el marco teórico de la emergía se debe a que sus partidarios toman como base postulados de conservación de la energía (Sciubba 2008:1348).

To say that “systems prevail that *maximize the integral of their energy absorption rate*” [que es la manera como él traduce la interpretación emergética del principio de Lotka³⁸] does not seem to fit into the undisputable “economy” of evolutionary phenomena, because all available data show that the winners in the evolutionary struggle are instead structures (living or not) that use the several forms of energy they can avail themselves of (radiation, thermal, chemical...) not according to “maximum throughput” but in the “most efficient” way, i.e., with the *least dissipation* compatible with their life-cycle and with the environment they are immersed in. (Sciubba 2008:1348)

De esta manera, si los organismos que tienen ventaja son los que exhiben mayor eficiencia energética (los que logran sus objetivos biológicos con la menor disipación posible), parecería que en efecto tendríamos que hablar de un “principio de la máxima eficiencia” lo cual —siguiendo la interpretación de Odum— parecería contradecir directamente lo que dijo Lotka.

En la revisión de Sciubba sobre el estado de la discusión, el único trabajo mencionado que ha intentado dar una comprobación experimental del principio de máxima potencia es el de John P. DeLong (2008). Siguiendo la interpretación de Odum, DeLong dice que:

One of the great strengths of the MPP [Maximum Power Principle] is that it directly relates energetics to fitness; organisms maximize fitness by maximizing power. With greater power, there is greater opportunity to allocate energy to reproduction and survival, and therefore an organism that captures and utilizes more energy than another organism in a population will have a fitness advantage (DeLong 2008:1329)

Tras recordar que Odum plantea dicho postulado como un principio general en la autoorganización de los sistemas, DeLong señala que no sólo es en el nivel de los organismos individuales que la selección natural opera para dirigir el proceso

³⁸ La definición de emergía utilizada por Sciubba es “the integral over space and time, in a life-cycle sense, of the solar radiation energy embodied in a natural or man-made product” (2008:1348).

evolutivo hacia la maximización de la potencia, sino que la misma dinámica se presenta en todos los niveles de organización del mundo biológico. DeLong señala que la ausencia de investigaciones experimentales que busquen dar una constatación empírica del “principio de la máxima potencia” se debe a la dificultad de llevar a cabo las mediciones correspondientes.

Even with an appropriate measure of biological power such as metabolism, many states in ecological systems will be hard to assess in terms of the MPP because it is difficult to know whether a particular state is the maximum given what it could otherwise be, especially for systems that are temporally dynamic. Competitive exclusion, however, provides a fairly discrete ecological phenomenon that can be investigated in terms of the MPP. (DeLong 2008:1329)

Queda claro que, para estos autores, la dinámica descrita por el principio de Gause vendría a ser una aplicación particular del principio de Lotka (el cual no sólo explicaría la maximización de la potencia a nivel de los organismos individuales sino también a nivel de los ecosistemas). DeLong explica el principio de Gause de la siguiente manera:

One possible MPP interpretation is that in the aggregate, the individuals of the winning population are acquiring and utilizing more energy (i.e. have higher power) than the individuals in the losing population, and they therefore survive and reproduce at higher rates and win the competition. This leads to a prediction: the outcome of competition will be in favor of the species with the highest power. (DeLong 2008:1330)

DeLong revisa, entonces, tres casos de exclusión competitiva en estudios de laboratorio sobre crecimiento de protistas y metazoos, interpretándolos bajo la óptica arriba descrita. Sin embargo, Sciubba y Zullo (2011) consideran que los resultados presentados por DeLong (2008) no son concluyentes, dado que también pueden ser interpretados desde un paradigma diferente.

Carsten Herrmann-Pillath (2013) ha hecho otro recuento reciente de la discusión argumentando a favor de la interpretación de Odum. Sus planteamientos

resultan particularmente interesantes para esta discusión porque, en su libro *Foundations of Economic Evolution*, busca precisamente armar un marco teórico de evolución y termodinámica de no-equilibrio para entender la evolución de las modernas economías humanas. Con respecto al punto específico de la tensión entre eficiencia y potencia³⁹, Herrmann-Pillath argumenta a favor de la maximización de la potencia utilizando también un ejemplo de competencia a nivel de organismos-especies:

For example, an animal that needs to avoid predators will not realize capacities to realize maximum efficiency but to manifest maximum power, because only maximum power would result in competitive speed ranges or prowess in fighting. [...] The animal that has the capacity to generate maximum power output, such as highest speed, might meet efficiency criteria during regular activities, though under the given structural constraints of the evolved capacity to maximize power output. [...] I may own a Ferrari, but under regular circumstances I drive the car in an energy-efficient way, namely at lower speeds. Yet, the design of the car aims at generating maximum power, which also constrains the achievable absolute levels of efficiency in the efficient states. (Herrmann-Pillath 2013:109)

Con lo anterior, Herrmann-Pilath busca defender el principio de la máxima potencia frente a los estudios que muestran que el metabolismo de los organismos puede describirse como un estado metaestable autorregulado que se mantiene *por debajo* de los niveles de máxima disipación, en torno a los rangos de máxima

³⁹ Herrmann-Pillath identifica correctamente la tensión al señalar que:

for a certain class of physical phenomena, the state with maximum power does not correspond to the state of maximum efficiency, defined in terms of minimizing the inputs relative to the outputs (similar to electric circuits which manifest Jacobi's Law, where maximum power generation is not achieved at the point of maximum efficiency, unless the electrical resistance at the source approaches zero, see Cartwright 2008; cf. Odum 2007:32ff). (Herrmann-Pillath 2013:109)

eficiencia⁴⁰. Herrmann-Pillath busca supeditar los estados de eficiencia que son observados “en circunstancias normales” a una tendencia general de la evolución de los organismos hacia diseños capaces de realizar funciones que despliegan máxima potencia: la eficiencia energética que un organismo puede lograr estaría definida en función de un diseño que busca la máxima potencia. En el mismo intento de defender el principio de maximización del flujo energético como tendencia evolutiva general en contra de lo que sugieren las evidencias empíricas, Herrmann-Pillath afirma que:

⁴⁰ En *La Termodinámica de la Vida*, Sagan y Schneider hacen un recuento de diversos estudios que señalan que el metabolismo de los seres vivos no se encuentra en el estado de máxima disipación, máxima potencia ni máxima producción de entropía. “Los organismos que operan en su zona de confort no maximizan tanto la producción de entropía y calor como la capacidad de continuar haciéndolo” (SS261). “Cuando el suelo se seca, los árboles rebajan sus tasas de fotosíntesis y transpiración. Así pues, aquí tenemos un sistema biológico que autorregula sus procesos metabólicos para funcionar a un nivel óptimo, no al máximo. Si los árboles trabajaran al máximo de su capacidad transpiratoria, no tardarían en agotar el agua disponible, se marchitarían y morirían” (Schneider y Sagan 2008:275)

“Los organismos sanos manifiestan una suerte de sabiduría natural. Conservan sus recursos para preservar a largo plazo su [dinámica autopoietica]. Se instalan en un estado estacionario, y canalizan la energía disponible hacia el mantenimiento de la vida” (SS261-262). “Una aceleración metabólica ligada a una subida de la temperatura acompaña a muchas enfermedades; de ahí que la toma de temperatura del paciente sea lo primero que hacen los médicos, padres y enfermeras en situaciones de urgencia. Tal vez no sean conscientes de ello, pero están evaluando la condición termodinámica del paciente. Buscan si se ha producido un incremento temporal considerable de la tasa metabólica o, lo que es lo mismo, la producción de entropía. Si es así, se concluye correctamente que el paciente está enfermo. En el organismo [...] enfermo, la reducción de gradientes puede acelerarse temporalmente, pero esta aceleración no es sostenible, porque es un reflejo de la incapacidad de mantener los modos superiores y más duraderos de reducción de gradientes alcanzados por el organismo adulto sano”. (Schneider y Sagan 2008:260)

Tanto los estudios de Alexander Zotin como los de Kimberly Hammond y Jared Diamond, muestran que el estrés acelera la tasa metabólica, eleva la producción de entropía y disminuye la eficiencia. Cuando el estrés remite, el sistema vuelve a la normalidad metabólica. La elasticidad metabólica permite a los organismos ajustar su consumo de energía para sobrevivir a los tiempos difíciles. (Schneider y Sagan 2008:261-262)

MPP is a propensity (such as a bodily disposition or capacity), but does not manifest itself necessarily under any condition, in the sense of a universal physical law; any kind of evolutionary process will manifest the tendency to maximize power, but will not always reflect a state of MPP. [...] This means MPP cannot be simply falsified by identifying states that fail to actualize maximum power production. (Herrmann-Pillath 2013:109)

Entre los teóricos de la emergía, se ha propuesto que el principio de la máxima potencia —tal y como lo reformuló Odum— es tan importante y de aplicación tan general que debería considerarse como la cuarta ley de la termodinámica. Debido al papel que tiene la selección natural en dicho postulado, no parece posible atribuirle ese nivel de generalidad (no aplicaría para la totalidad de los fenómenos físicos, como las otras leyes termodinámicas). Herrmann-Pillath parece estar de acuerdo con esto al decir que “the actualization of MPP depends on the evolutionary context: only as evolutionary forces reign, MPP will tend to manifest in empirical observations” (Herrmann-Pillath 2013:110). Ampliando un poco lo anterior señala que:

It is not the purpose of a function to maximize power, but functions that are subject to selection will tend to favour configurations by which maximum power is selected for in relationship to the realization of functions, relative to the environment.(Herrmann-Pillath 2013:109)

Así, de acuerdo con Herrmann-Pillath, siempre que haya poblaciones de “funciones” (para nuestros propósitos, léase *function* = *organism*, aunque el autor también incluye sistemas autocatalíticos) que compiten entre sí por los recursos energéticos, la selección natural conducirá hacia la máxima potencia. Esto correspondería, efectivamente, con un principio de aplicabilidad general para la evolución biológica. Sin embargo, otros autores opinan que el alcance de dicho principio es todavía más limitado:

Lotka’s assertion that natural selection favors those organisms that maximize the flow of energy through the system has since been modified (even by Lotka himself). It is now acknowledged that maximizing flow-through is a common

response in the early stages of an ecological system's development, when there is still an excess of available energy present. However, as various species begin to fill up a given ecological habitat, they are forced to adapt to the ultimate carrying capacity of the environment by using less energy flow-through. The initial phase of maximum flux is generally referred to as the colonizing phase, and the later stage of minimum flow-through as the climactic phase (Rifkin y Howard, 1980:54)

De este modo, la aplicabilidad del principio de Lotka se limitaría a aquellos periodos en los que existe abundante energía no utilizada, es decir, los periodos de crecimiento acelerado, de inmadurez ecológica y de "colonización". Esto es una consecuencia lógica del vínculo establecido entre la interpretación de Odum sobre el principio de la máxima potencia y el principio de exclusión competitiva. Odum señala explícitamente que el principio de exclusión competitiva sólo aplica para periodos de crecimiento rápido en los que las fuentes de energía son "relativamente ilimitadas". Un postulado que describa esta situación *particular* no puede considerarse un principio *general*, pues sólo aplica en condiciones específicas que tarde o temprano terminan por topar con los límites del crecimiento, situación en la cual las reglas del juego cambian y la selección natural pasa a favorecer a los organismos más eficientes, que son los que logran cumplir sus objetivos biológicos con la mínima disipación posible. Si resolvemos de esta manera la tensión entre eficiencia y potencia, obtenemos un postulado cuya relevancia se ve completamente disminuida, pues no describe una tendencia general de la evolución biológica. Sin embargo, esto no era lo que decía Lotka.

¿Se equivocó Lotka cuando postuló una "ley de la evolución" según la cual ésta "avanza en una dirección tal que lleva el flujo total de energía que atraviesa el sistema hasta el máximo compatible con las limitaciones impuestas"? (Lotka 1922:149). En su lectura del asunto, Schneider y Sagan concluyen que Lotka se retractó del principio maximal que formuló originalmente en *Contribution...* (Schneider y Sagan 2008:192) Yo sostengo que ni se equivocó ni se retractó: Lotka ha sido malinterpretado.

Lotka tenía muy clara la oposición entre maximización de la eficiencia y maximización del flujo energético. En *Elements of Physical Biology* aclara sin lugar a dudas qué es lo que él entiende por eficiencia. Hablando en general de los “transformadores de energía” —que hoy podríamos denominar sistemas disipativos, de los cuales (como Lotka entendía) los seres vivos son un subconjunto— Lotka habla de eficiencia en términos de la proporción de energía que el sistema efectivamente logra convertir en trabajo. En un ejemplo más específico, discute la eficiencia en la producción de carne y leche en sistemas agropecuarios. Una visión común de eficiencia toma en cuenta la proporción entre inputs y outputs, siendo más eficiente un sistema conforme logre minimizar los inputs necesarios para conseguir determinados outputs. Ulanowicz y Hanon (1987) también dicen que más eficiente es el sistema que, dado cierto input de energía aprovechable, logre convertir más energía en trabajo, logrando una menor pérdida entrópica (energía no convertible en trabajo que se disipa como calor) en el proceso. Sin embargo todavía habría que agregar algo.

Como ya dije, la idea de “trabajo” se define con respecto a un cierto fin, que en el caso de los sistemas autopoieticos, es autoconstruirse permanentemente y eventualmente reproducirse. Es con referencia a este fin que puede evaluarse la eficiencia del sistema. Por lo que podemos decir que aquel sistema que logre cumplir los objetivos biológicos (mantener autopoiesis y reproducirse) con menor trabajo será más eficiente. De este modo, la eficiencia consiste en lograr los objetivos biológicos con menor pérdida entrópica y con menor trabajo, lo que en conjunto implica menores requerimientos en términos de inputs (energía, materiales), lo cual otorga ventaja competitiva. Podemos resumir lo anterior diciendo que tendrán ventaja quienes “aprovechen” mejor la energía disponible. Si se logra cumplir los objetivos biológicos con menor disipación hay también, por lo tanto, menor producción de entropía.

Lotka entiende y acepta la “incuestionable economía de los fenómenos evolutivos” de la que habla Sciubba, como puede verse claramente en el siguiente extracto:

Where the supply of available energy is limited, the advantage will go to that organism which is most efficient, most economical, in applying to preservative uses such energy as it captures. (Lotka 1922:150)

Lo anterior no contradice el hecho de que, entre organismos igualmente eficientes, igualmente económicos, tendrá ventaja aquel que pueda captar y aprovechar fuentes de energía disponible que no estén siendo todavía aprovechadas (fuentes que otros organismos no puedan aprovechar). Recurriendo a la metáfora de una rueda de molino impulsada por la corriente de un río, Lotka ilustra esta situación señalando el excedente de energía no aprovechada que corre, “desperdiciándose”, a los lados de la rueda:

so long as there is an abundant surplus of available energy running “to waste” over the sides of the mill wheel, so to speak, so long will a marked advantage be gained by any species that may develop talents to utilize this “lost portion of the stream.” (Lotka 1925:357)

Obviamente, esta ventaja sólo podrá existir en ambientes en los que exista energía disponible que no esté siendo aprovechada todavía pero que pueda ser aprovechada. Cada vez que se desarrollen nuevos dispositivos de captura de energía, la competencia será por la eficiencia en la captura y aprovechamiento de la nueva fuente de energía. Mientras la energía disponible sea “relativamente ilimitada”, pueden proliferar organismos poco eficientes pero, conforme su crecimiento conduzca hacia los límites de la energía disponible, la cuestión de la eficiencia se hará más y más importante:

The problem of economy in husbanding resources will not rise to its full importance until the available resources are more completely tapped (Lotka 1925:357)

Evidentemente, Lotka no estaba pensando en la posibilidad de un crecimiento infinito. Estoy de acuerdo con Sciubba cuando dice que el principio de Lotka debe ser comprendido en el marco de una teoría del crecimiento limitado [*constrained growth theory*] (Sciubba 2011:1348). Lotka sabe perfectamente —citando el

trabajo de Malthus— que el crecimiento exponencial de las poblaciones de organismos tarde o temprano topará con los límites de la energía disponible o de los materiales necesarios para convertirla en trabajo: por eso introduce la idea de los “factores limitantes” del crecimiento. Entiende que un despilfarro de recursos —maximizar la disipación por maximizarla— puede conducir a una especie a la extinción (por agotamiento de reservas) tanto como no lograr conseguir la energía suficiente para preservar su existencia. Es preciso entender bien a qué se refiere Lotka cuando dice que “acepta *parcialmente* las conclusiones del Dr Johnstone”, a quien cita diciendo que:

natural selection must work toward the weeding out of unnecessary and wasteful activities, and thus toward the conserving of free energy, or what amounts to the same thing, toward retarding energy dissipation. (Lotka 1922:149)

El desacuerdo no está en que la selección natural tenderá a eliminar a los organismos despilfarradores favoreciendo a los más eficientes. El desacuerdo está en que Johnstone afirma que, en los procesos biológicos, el incremento de entropía se retarda: Lotka afirma que la vida tiende a incrementar la disipación, a acelerarla y no a reducirla. ¿Cómo puede ser? Parecería haber una contradicción aquí. Si la selección natural elimina a los despilfarradores y se queda con los más eficientes (los que logran sus propósitos con una menor disipación de energía), ¿tiene sentido decir que la vida tiende a incrementar la disipación? Éste es el punto crucial que hasta ahora no ha sido bien comprendido.

Lotka acepta lo que decía Johnstone de que, de cierta manera, los organismos *retardan* la disipación de energía y la producción de entropía. Hablando en general de los “transformadores de energía” [*energy transformers*], entre los cuales los seres vivos son el subconjunto que más le interesa, explica la relevancia de la acumulación de energía:

A great variety of accumulators are in technical use. In the simplest case such an accumulator may consist of empounded water or a raised storage tank, ready upon the opening of a sluice or a valve to discharge its stored up energy.

More closely akin to the systems in which we are primarily interested is the lead accumulator or secondary battery, in which electrical energy is transformed into and stored as chemical energy, somewhat as the energy of sunlight is, in the leaves of the plants, transformed into chemical energy and stored up in the form of starch. (Lotka 1925:328)

Tal y como vimos con el ejemplo de la síntesis de moléculas de ATP, Lotka entiende que parte del metabolismo incluye la acumulación y almacenamiento de energía para utilizarla posteriormente, retardando su disipación hasta el momento en que sea biológicamente necesaria. Dice que “el organismo vivo funciona como acumulador de energía y como disipador de energía” (Lotka 1925:329) y que el metabolismo incluye dos aspectos, el aspecto anabólico de captura y almacenamiento de energía y el aspecto catabólico en el que dicha energía es disipada y convertida en trabajo⁴¹. Los organismos tienen dispositivos o mecanismos de acumulación y almacenamiento de energía (como la síntesis de ATP) y, evidentemente, mientras mayor sea su eficiencia para transformar la energía a formas almacenables así como para recuperarla posteriormente convirtiéndola efectivamente en trabajo, tendrán ventaja sobre sus competidores en la selección natural. En este sentido, Lotka está de acuerdo con Johnstone en que los organismos “retardan” la disipación de energía. Un organismo que disipe toda la energía que tiene lo más rápido que puede —como si maximizar la disipación de energía fuera su objetivo— no será el ganador en la competencia por la vida. Los ganadores serán quienes logren cumplir sus objetivos minimizando su gasto de energía y almacenando lo que puedan para seguir cumpliendo dichos objetivos en el futuro.

⁴¹ Está de acuerdo con Johnstone en que, en el caso de las plantas, ésta función está particularmente desarrollada: señala que los organismos en que predominan los procesos anabólicos (como las plantas) pueden catalogarse como *anabions* y aquellos en los que predominan los procesos catabólicos (como los animales), pueden clasificarse como *catabions*, aunque no es posible trazar una línea tajante entre ambos. (Lotka 1925:329)

Tenemos entonces que la eficiencia energética es lo que hace más “aptos para la supervivencia” a los organismos y las especies. Esta eficiencia energética general, puede analizarse observando tres subprocesos:

- i) Captura de energía. Dado que los seres vivos requieren de un input de energía aprovechable para mantenerse en el estado metaestable, alejado del equilibrio termodinámico que constituye la vida, para sobrevivir deben contar con ciertos “dispositivos” [*devices*] que les permitan allegarse continuamente de ese input de exergía. Como regla general, los organismos que logren captar con mayor eficiencia la energía disponible en su ambiente tendrán ventaja selectiva. En cada nicho ecológico, la competencia entre organismos seleccionará a quienes sean más efectivos para captar esa energía⁴². En los casos particulares en que haya remanentes de energía que no están siendo aprovechados, los organismos que desarrollen dispositivos capaces de captar dicha energía para utilizarla en sus propósitos vitales (ampliando sus nichos ecológicos o creando nuevos nichos), tendrán ventaja selectiva. Sin embargo, nuevamente, entre los organismos que desarrollen dispositivos capaces de captar esa nueva forma de energía, los más eficientes tendrán ventaja.
- ii) Acumulación de energía. Como regla general, los organismos que posean “dispositivos” más eficientes para almacenar la energía disponible y utilizarla cuando la necesiten, tendrán ventaja selectiva⁴³.

⁴² Lotka habla específicamente del papel que tienen los “receptores” sensoriales (en conexión con el sistema motor) de los animales que, siendo heterótrofos y dado que las fuentes de energía de las que se abastecen no están distribuidas homogéneamente, deben buscar su alimento en el ambiente. Los animales cuyos “dispositivos receptores” les permitan dirigirse más certeramente hacia las fuentes de alimento, gastarán menos energía en la búsqueda, con lo que el balance entre la energía gastada y la energía conseguida será positivo. Esta es otra forma de eficiencia que igualmente aporta ventajas selectivas a los organismos... (Lotka 1925)

⁴³ Lotka menciona que, por ejemplo, un animal que para alimentarse debe buscar y desplazarse hacia fuentes de materia-energía que están distribuidas de manera heterogénea en el ambiente, necesita captar y acumular energía suficiente,

Esto incluye la eficiencia a la hora de transformar energía de una forma a otra (por ejemplo de radiación solar a energía química), considerando que en toda transformación habrá pérdidas entrópicas. Esto vale igual para la transformación de energía hacia la forma almacenable (por ejemplo la grasa en los animales), como para la recuperación de la misma y su conversión en trabajo cuando la preservación del organismo lo requiera.

- iii) Conversión de energía en trabajo. La energía captada y almacenada tiene, como finalidad última, ser aprovechada para realizar trabajo. En el caso de los seres vivos, ese trabajo se define en función del mantenimiento de la autopoiesis y de la continuidad de su linaje reproductivo. La eficiencia se mide, por lo tanto, en función de la consecución de estos objetivos biológicos. Aquellos organismos que logren cumplir dicho objetivo realizando menos trabajo, y que logren realizar dicho trabajo con mayor eficiencia energética (necesitando menores inputs para lograrlo, gastando menos recursos y disipando menos energía para lograrlo, teniendo menores pérdidas entrópicas en el proceso, etc.) serán los que tengan ventaja selectiva.

En cada aspecto parcial, y en el proceso total, mayor eficiencia significa lograr los objetivos biológicos minimizando el input de energía necesario, minimizando la disipación y el consumo de recursos para lograrlo y minimizando las pérdidas entrópicas de energía que no logró convertirse en trabajo. En cada aspecto parcial y en el proceso total, una mayor eficiencia incrementará las probabilidades de supervivencia del organismo en cuestión. Esto puede considerarse una regla general, por lo que, a largo plazo, la evolución avanza en el sentido de una mayor eficiencia energética entre los organismos y las especies. (En cada momento presente, la eficiencia estará limitada por las características específicas del

mínimamente, para buscar y desplazarse hasta la siguiente fuente de alimento (Lotka 1945:181).

organismo y de sus procesos metabólicos en relación con el ambiente en el que se desenvuelve.)

Lo anterior parecería contradecir el “principio de Lotka” pero esto es así sólo si nos apegamos a la interpretación de Odum: leyendo los textos originales de Lotka se puede ver que esto no es así. Quienes afirman que “los organismos que maximicen sus inputs de energía y maximicen la disipación de energía —que maximicen el flujo (*throughput*) a través del sistema, maximizando también la producción de entropía— tendrán ventaja sobre sus competidores” han malinterpretado lo que dijo Lotka (y no sorprende que tengan dificultades defendiendo esta interpretación). ¿Qué es entonces lo que dice, realmente, el principio de Lotka? Una lectura cuidadosa de los primeros párrafos de *Contribution to the Energetics of Evolution* lo resuelve. Los citaré completos, completando el argumento con algunas ideas adicionales:

It has been pointed out by Boltzmann that the fundamental object of contention in the life-struggle, in the evolution of the organic world, is available energy. In accord with this observation is the principle that, in the struggle for existence, the advantage must go to those organisms whose energy-capturing devices are *most efficient* in directing available energy into channels favorable to the preservation of the species. (Lotka 1922:147, cursivas mías)

Con el amplio marco teórico presentado en *Elements of Physical Biology* se aclara que Lotka no ve la competencia por la vida como si fuera una competencia por ver quién come el mayor número de pasteles, sino por ver quién quien consigue de la manera más eficiente aquello que necesita para mantenerse vivo y para mantener la continuidad de su linaje reproductivo. Lotka no dice que la ventaja sea para los organismos que “maximizan su input de energía” sino a los “más eficientes en dirigir la energía disponible hacia los canales favorables para la preservación de su especie”. Esta es una forma específica de eficiencia (la de los dispositivos de captura de energía) que debe entenderse en el marco de la discusión general sobre la eficiencia planteada por Lotka (que incluye también la eficiencia de acumulación o almacenamiento de energía y la eficiencia a la hora de convertirla

en trabajo). La eficiencia se mide en función de las necesidades biológicas, no se trata simplemente de maximizar por maximizar. Como ya argumenté en el apartado sobre la intencionalidad de los seres vivos, el objetivo de los organismos no es maximizar la disipación de energía ni la producción de entropía, su objetivo es preservar su vida y la continuidad de sus linajes reproductivos, la “competencia” es por ver quién es más eficiente en la consecución de este objetivo. Lotka entiende perfectamente que un organismo que logre cumplir sus necesidades biológicas con *menos* input de energía (mayor eficiencia), tendrá ventaja sobre sus competidores (como veremos a continuación). Continúa Lotka en *Contribution to the Energetics of Evolution*:

The first effect of natural selection thus operating upon competing species will be to give relative preponderance (in number or mass) to those most efficient in guiding available energy in the manner indicated. (Lotka 1922:147)

Los organismos más eficientes podrán reproducirse con mayor éxito que sus competidores. De acuerdo con la teoría del crecimiento limitado [*constrained growth*] presentada ampliamente por Lotka en *Elements of Physical Biology*, se entiende claramente que el crecimiento de las poblaciones de éstos organismos “ganadores” (los más eficientes) será posible hasta donde los “factores limitantes” lo permitan. Continúa Lotka:

Primarily the path of the energy flux through the system will be affected.

But the species possessing superior energy-capturing and directing devices may accomplish something more than merely to divert to its own advantage energy for which others are competing with it. If sources are presented, capable of supplying available energy in excess of that actually being tapped by the entire system of living organisms, then an opportunity is furnished for suitably constituted organisms to enlarge the total energy flux through the system. Whenever such organisms arise, natural selection will operate to preserve and increase them. The result, in this case, is not a mere diversion of the energy flux through the system of organic nature along a new path, but an increase of the total flux through that system. (Lotka 1922:147)

El éxito reproductivo de los organismos más eficientes llevará a las poblaciones hasta los límites máximos que el ecosistema pueda soportar (los límites de la capacidad de carga o biocapacidad). Ocurre lo mismo cada vez que una especie logra captar formas de energía que no estaban siendo aprovechadas (ampliando o abriendo nuevos nichos). De esta manera, el proceso evolutivo —entendido como un proceso de ensamblaje ecosistémico— efectivamente tiende a llevar al “sistema entero de organismos vivos” hacia la máxima captación de energía compatible con las limitantes (ambientales y metabólicas) y, por lo tanto, tiende a incrementar el flujo total de energía que atraviesa el ecosistema. Para interpretar correctamente el principio de Lotka hay que entender que la tendencia evolutiva hacia la maximización del flujo energético se da *a nivel de ecosistemas*⁴⁴ y se da hasta topar con los factores limitantes.

En *Elements of Physical Biology* hay un apartado titulado *Collective Effect of Individual Struggle for Energy Capture* que habla sobre esto mismo:

⁴⁴ Lotka (1925) habla de cómo los organismos (energy transformers) se ensamblan para formar unidades más grandes (ecosistemas): We may form the conception of a system of transformers comprising, in the most general case, individual single transformers, aggregates of composite transformers, and coupled transformers; some or all of which may partake in greater or less degree of the nature of accumulators(p.329) The several individual organisms of one species form in the aggregate one large transformer built up of many units functioning in parallel (p.330) Es entonces cuando dice que:

Since the parts of the engine are all interrelated it may happen that the output of the great wheel is limited, or at least hampered, by the performance of one or more of the wheels within the wheel. For it must be remembered that the output of each transformer is determined both by its mass and by its rate of revolution. If the working substance or any ingredient of the working substance of any of the subsidiary transformers reaches its limits, a limit may at the same time be set of the performance of the great transformer as a whole. Conversely, if any of the subsidiary transformers develops new activity, either by acquiring new resources of working substance, or by accelerating its rate of revolution, the output of the entire system may be reflexly stimulated. (pp.334-335)

Our reflections so far have been directed to the selfish efforts of each organism and species to divert to itself as much as possible⁴⁵ of the stream of available energy. But if we recall once more the admonition of Bunge —Nature must be considered as a whole if she is to be understood in detail— we shall be led to enquire: What must be the effect, upon the world-as-a-whole, of the general scrimmage for available energy?

[...] we should in the first instance be disposed to conclude that the cosmic effect of the scrimmage for available energy would be to increase the total energy flux, the rate of degradation of the energy received from the sun. But [...] even among animals, greater efficiency in utilizing energy, a better husbanding of resources, and hence a less rapid drain upon them, must work to the advantage of a species talented in that direction. There are thus *two opposing tendencies in operation*, and it's difficult to see how any general principle can be applied to determine just where the balance will be struck. (Lotka 1925:357, cursivas mías)

Hay “dos tendencias opuestas” operando simultáneamente: una en la que los organismos evolucionan en la dirección de creciente eficiencia energética (minimizando la disipación con relación al trabajo obtenido) y otra en la que los ecosistemas evolucionan en dirección de la maximización del flujo total de energía (incrementando la disipación en términos netos). Al interior de cada nicho ecológico, la competencia por la eficiencia tendrá como resultado que las poblaciones de organismos crezcan hasta alcanzar los máximos posibles (compatibles con las limitaciones impuestas). Cada que surge una variedad más eficiente para aprovechar la energía disponible en un nicho determinado (energía que siempre es limitada) se produce un incremento total de la población: si

⁴⁵ Una primer lectura de esta frase puede prestarse a equívoco pero, en el párrafo siguiente, el propio Lotka ofrece elementos para interpretar correctamente. En la competencia por la eficiencia energética, los más eficientes acapararán la energía disponible y, en ese sentido, efectivamente, dirigirán el mayor porcentaje de la energía disponible en el ambiente hacia la preservación de su propia especie. Pero esto no implica que los organismos busquen la maximización del input, como queda claro a continuación cuando habla de eficiencia.

aparecen organismos más eficientes, con la misma cantidad de energía se puede sostener a una población mayor. Conforme todos los nichos son ocupados por las poblaciones más grandes de los organismos más eficientes (hasta donde la biocapacidad del ecosistema y la eficiencia metabólica de los organismos lo permitan), el ecosistema se instala en un estado metaestable, definido como el máximo aprovechamiento de la energía disponible, hasta donde los factores limitantes lo permitan. De este modo, lo que podemos ver como dos “tendencias opuestas” en cada nivel⁴⁶ son, en realidad, una misma tendencia si las consideramos en conjunto: el incremento en la eficiencia a nivel de especies y organismos conduce hacia un incremento del flujo energético total que atraviesa el sistema ecológico y a un incremento de la masa total del sistema ecológico. Tanto los factores que limitan la eficiencia de los organismos como los que limitan el crecimiento de las poblaciones dependen de particularidades (metabólicas, ambientales) que no es posible definir con base en una regla general, por lo que no se puede predecir *a priori* en qué punto exacto se estabilizará el sistema. El “equilibrio” se da cuando la tendencia al incremento de la masa y el flujo energético del ecosistema se topa con los límites. La regla general sólo dice que el ecosistema evolucionará hasta estabilizarse en dichos límites, pero no puede predecirlos.

En *The Law of Evolution as a Maximal Principle*, Lotka insiste en distinguir estos “dos aspectos” de la evolución biológica: en el nivel de evolución *inter-species* y evolución *intra-species*. Al respecto, comenta que:

in the system of organic nature, intra-species evolution has so prominently engaged the attention of biologists, that attempts to indicate the direction of

⁴⁶ Sciubba también identifica que Lotka habla en estos dos niveles, pero parece interpretar que en ambos niveles hay una tendencia hacia la mínima disipación. “Lotka’s idea is that *it is the system as a whole that may* (although through oscillations) *evolve towards a lower dissipation rate* (in modern terms, lower exergy destruction): subsystems may occasionally prevail that display a higher degree of entropy production (higher exergy destruction), but then again, sooner or later these subsystems will find themselves challenged by competing subsystems operating within the same niche that are “more efficient”, i.e. that destroy a lower percentage of the incoming exergy flux” (Sciubba 2011:1349)

evolution have commonly been couched with reference to individual species. Actually, as already hinted, any adequate treatment of the problem must envisage the evolving system as a whole—the aggregate of coexisting species and their inorganic environment. (Lotka 1945:178)

Lotka sostiene que para poder definir la dirección en la que avanza la evolución, debemos tomar una perspectiva sistémica, holística, ecológica:

The concept of evolution, to serve us in its full utility, must be applied, not to individual species, but to groups of species which evolve in mutual interdependence; and further, to the system as a whole, of which such groups form inseparable part. (Lotka 1925:277)

We may further set it down that the formulation of the law of evolution must unquestionably be made in terms of the evolving system as a whole; that it cannot be adequately expressed by reference to only one component, such as a single species. It is the system as a whole, under the flood of light energy received from the sun, that evolves. [...] The net effect is to maximize in this sense the energy flux through the system of organic nature. (Lotka 1945:194)

Entendido de esta manera, el principio de Lotka efectivamente describe una “ley de la evolución definida como una ley del máximo flujo de energía” (Lotka 1925:357) hasta donde sea compatible con los límites impuestos al sistema.

La mayoría de las veces, Lotka enuncia este postulado hablando de maximizar el “flujo de energía” o la “captación de energía”, sólo en una ocasión (Lotka 1922:149) sugiere que la variable en cuestión “*is of the dimensions of power, or energy per unit time*”. Considerando su notable esfuerzo por definir el significado preciso del principio enunciado, es significativo el hecho de que en ninguno de sus textos encontramos literalmente el concepto de “máxima potencia” o “maximización de la potencia” (*maximum power* o *maximizing power*): sospecho que Lotka no hubiera estado muy convencido de referirse a su postulado como “principio de la máxima potencia” (como se le conoce a partir de la reinterpretación de Odum). Hablar de una “maximización de la potencia” parece sugerir que la

evolución tiende hacia el estado en que se realiza el máximo trabajo posible, con la máxima potencia posible. Como ya dije, Lotka reconoce que una cualidad básica, tanto de organismos como de ecosistemas, es la capacidad de almacenar energía utilizable, retardando su utilización hasta el momento en que sea biológicamente necesaria. De acuerdo con esto, no podemos decir que organismos o ecosistemas busquen realizar todo el trabajo que sea posible realizar en cada momento. Si la economía de los procesos evolutivos implica que los organismos buscarán realizar el mínimo trabajo que les permita cumplir con sus objetivos biológicos, reduciendo la disipación al mínimo y almacenando energía para después, entonces los conjuntos de organismos —ecosistemas— tampoco se encontrarán en el estado de máxima realización de trabajo. Por eso prefiero decir que se avanza hacia la “maximización del aprovechamiento de la exergía”, entendiendo que “maximizar el aprovechamiento” no implica convertir la exergía en trabajo a la máxima tasa posible, sino que también incluye almacenar y retardar dicha conversión, todo ello en función de lo que sea necesario y conveniente para cumplir los objetivos biológicos de los organismos en cuestión. “Maximizar el aprovechamiento de la exergía” incluye tanto la búsqueda de eficiencia —a nivel de organismo— como el crecimiento de las poblaciones y la ocupación de todos los nichos —a nivel de ecosistema— hasta aprovechar toda la energía disponible.

2.3.5. Crecimiento, estabilización y decrecimiento

Recapitulando: En general, el progreso evolutivo conduce hacia el ensamblaje de sistemas ecológicos cada vez más diversos, con mayor interdependencia y reciclaje de materiales, estabilizados en torno a los niveles máximos de biomasa y de aprovechamiento de energía posibles. Mientras los organismos compiten por hacer un uso más eficiente de la energía al interior de cada nicho ecológico (con menor disipación, menor producción de entropía) el ecosistema en conjunto avanza hacia el estado de máximo aprovechamiento de la energía disponible (el

estado de máxima captación y máxima conversión de la energía disponible en trabajo biológico). Cuando todos los nichos ecológicos han sido ocupados por los organismos más eficientes, cuando toda la energía que puede usarse para realizar trabajo bajo esas condiciones ya está siendo utilizada, el crecimiento se detiene y el ecosistema se estabiliza.

Decir que la maximización del flujo de la energía en los ecosistemas es una “ley de la evolución” no significa que la tasa del flujo de la energía (la cantidad de energía que fluye por unidad de tiempo) deba necesariamente aumentar en todo momento. Afirmar lo segundo implicaría creer que es posible un crecimiento infinito, como si los ecosistemas pudieran acceder siempre a más y más energía para crecer más y más, sin límites. Aunque pensar esto último resulta conveniente para quienes defienden la ideología del progreso humano como crecimiento sin límites (como veremos en el Capítulo 3), esto claramente no es así. En cada momento de la historia evolutiva, ecosistemas particulares⁴⁷ acceden a fuentes limitadas de energía y podrán crecer (maximizando el flujo de energía que los atraviesa) hasta donde los factores limitantes lo permitan. Lotka entendió correctamente que el permanente impulso de la vida hacia la diversificación eventualmente conduce hacia la aparición de organismos capaces de aprovechar remanentes de energía que hasta entonces no habían sido aprovechados, y esto es un ejemplo muy claro del principio de maximización del flujo energético que él postuló. Tomando un motor como metáfora del ecosistema formado por subsistemas (cada uno con sus propios límites de eficiencia), Lotka lo expresa claramente en el siguiente párrafo:

Since the parts of the engine are all interrelated it may happen that the output of the great wheel is limited, or at least hampered, by the performance of one or more of the wheels within the wheel. For it must be remembered that the output of each transformer is determined both by its mass and by its rate of revolution.

⁴⁷ Conformados por especies de organismos particulares, con niveles máximos de eficiencia relativos a sus tipos particulares de metabolismo y a las formas particulares en que se articulan unas especies con otras para formar los ecosistemas.

If the working substance or any ingredient of the working substance of any of the subsidiary transformers reaches its limits, a limit may at the same time be set of the performance of the great transformer as a whole. Conversely, if any of the subsidiary transformers develops new activity, either by acquiring new resources of working substance, or by accelerating its rate of revolution, the output of the entire system may be reflexly stimulated. (Lotka 1925:334-335)

Como ya veíamos, los límites al crecimiento pueden ser establecidos por factores energéticos (límites de la energía aprovechable) o materiales. Dado que, para aprovechar la energía disponible es necesario un sustrato material (*working substance*), los límites de disponibilidad de ciertos elementos materiales pueden imponer un límite al aprovechamiento de energía. De este modo, quedaría en el ambiente un remanente de energía no aprovechada, tal y como lo ilustra la metáfora de la rueda de molino que sólo logra aprovechar parte del flujo de agua en el río. Si algún organismo consigue desarrollar una innovación metabólica que le permita utilizar recursos materiales adicionales o recircular más rápidamente los ya existentes⁴⁸ de modo que sea posible aprovechar más cabalmente dicha fuente de energía, se abrirá entonces un nuevo nicho en el que nuevas poblaciones competirán por eficiencia y crecerán hasta estabilizarse según lo permitan los nuevos factores limitantes. Eso es lo que explica Lotka en el siguiente párrafo:

Where a limit, either constant or slowly changing, is imposed upon the total mass available for the operation of life processes, the available energy per unit of time (available power) placed at the disposal of the organisms, for application

⁴⁸ Lotka entendió que, a diferencia del aporte continuo de energía proveniente del Sol (energía que, aunque inevitablemente se degrada hacia formas inutilizables, es continuamente reemplazada por nueva energía de alta calidad), la materia disponible sobre la Tierra es finita, por lo tanto, para que el “World-Engine” pueda seguir funcionando, es necesario que los ecosistemas construyan ciclos de recirculación de los materiales, haciéndolos disponibles una y otra vez para llevar a cabo nuevos ciclos de trabajo biológico. Si surgen innovaciones metabólicas que permiten acelerar la recirculación de los (limitados) materiales, se abre una oportunidad para incrementar el flujo total de energía a través del sistema. A esto se refiere como “rate of revolution” en la cita anterior.

to their life tasks and contests, may be capable of increase by increasing the rate of turnover of the organic matter through the life cycle. (Lotka 1922:147)

Si nos quedamos únicamente con estos ejemplos parecería que, en efecto, el principio de Lotka aplica únicamente en este tipo de situaciones en las que “existe un remanente energético no aprovechado” por lo que el sistema en conjunto *puede crecer* para aprovecharlo. Si aceptamos esta interpretación, tendríamos que decir que el principio de Lotka es de aplicabilidad limitada, no una “ley de la evolución” sino un modelo que sólo es válido para las fases de crecimiento ecosistémico, como dicen Rifkin y Howard (1980). Sin embargo, el hecho de que en sus ejemplos de crecimiento Lotka incluya explícitamente una cláusula condicional —como cuando dice que el crecimiento es posible “en circunstancias en que haya disponible un remanente de materia y energía no aprovechada”— implica que es posible considerar *otras* circunstancias. En la interpretación que aquí defiendo, el postulado de que “los ecosistemas evolucionan hasta instalarse y estabilizarse en torno a los niveles máximos de aprovechamiento de la energía disponible” no implica que la energía disponible vaya siempre en aumento, y puede aplicarse correctamente en los tres escenarios posibles:

- a) Crecimiento. Cuando sea posible aprovechar biológicamente más energía de la que ya está siendo aprovechada, el ecosistema crecerá hasta donde los límites lo permitan.
- b) Estabilización. Cuando no sea posible aprovechar biológicamente más energía de la que ya está siendo aprovechada, el ecosistema se estabilizará en torno a los límites máximos de aprovechamiento de energía.
- c) Decrecimiento. Cuando por alguna razón no sea posible continuar aprovechando la misma cantidad de energía que previamente había sido aprovechada, el ecosistema se verá forzado a decrecer. En algunos casos podrá estabilizarse en torno a los nuevos límites (con un menor flujo de energía), en otros casos la reducción puede ser tan drástica que la adaptación sea imposible.

En los tres casos, la evolución biológica buscará estabilizar a los ecosistemas en torno a los niveles máximos de aprovechamiento de energía, la diferencia es que dichos “niveles máximos” pueden aumentar, permanecer estables o disminuir, dependiendo de las circunstancias. Ya hemos revisado casos en los que los ecosistemas pueden crecer para incrementar el flujo total de energía que los atraviesa: son el tipo de ejemplos que comúnmente se utilizan para explicar el principio de Lotka.

De lo que casi nadie habla, es de las amplias secciones de *Elements of Physical Biology* que dedica Lotka a estudiar los estados estables y metaestables desde una perspectiva —adelantada para su época— de termodinámica de sistemas alejados del equilibrio. Lotka afirma que para una correcta comprensión de cualquier proceso evolutivo, es necesario investigar no sólo la manera en que ocurren los cambios de estado y la dirección en la que avanza el proceso, sino también aquellos momentos en los que el cambio se suspende y el proceso se estabiliza (Lotka 1925:143).

Lotka distingue correctamente el equilibrio observable en los sistemas vivos del equilibrio termodinámico. Etimológicamente, *Aequa libra* describe una balanza en la que dos fuerzas equivalentes se anulan mutuamente, con lo que la sumatoria de las fuerzas es igual a cero. En la evolución de distintos sistemas físicos, podemos encontrar estados estables en los que las fuerzas capaces de realizar trabajo —capaces de hacer cambiar al sistema— desaparecen. Lotka ilustra este punto con el ejemplo de una pelota que es colocada en un recipiente hemisférico: el sistema se estabiliza cuando la energía potencial alcanza un mínimo compatible con la geometría del recipiente. Como vimos en el Capítulo 1, el estado de equilibrio termodinámico es aquel en el cual toda la energía capaz de realizar trabajo se ha disipado ya y el sistema se estabiliza en el estado de máxima entropía (esto sólo aplica para sistemas aislados). Cuando ya no es posible realizar ningún trabajo, sólo es esperable el reposo y la invariancia en el tiempo. Lotka sabe desde el principio que los seres vivos son sistemas abiertos, alejados del equilibrio termodinámico, por lo que no es este tipo de equilibrio el que ellos manifiestan:

Pedantic usage would demand that the term equilibrium be reserved for states satisfying the dynamic and energetic conditions of rest or invariability in time. It would deny the appellation equilibrium to certain states commonly so designated. Metabolic equilibrium, population equilibrium, and the like, are not true equilibria, in this narrower sense, but are steady states maintained with a constant expenditure, a constant dissipation, of energy. (Lotka 1925:144)

Para distinguir este segundo tipo de equilibrio —sostenido mediante una tasa de disipación constante—, Lotka a veces usa el término de “cuasiequilibrio” o “equilibrio metaestable”. Señalando que el primer tipo de equilibrio ya ha sido suficientemente descrito en termodinámica, Lotka señala que su atención principal será para el segundo tipo de equilibrio, que es el que puede encontrarse en la fenomenología biológica (Lotka 1925:145). Lotka procede entonces a detallar formulaciones matemáticas de la “Condición General de Equilibrio” o estado estacionario, que define como el estado “obtained by equating to zero the velocity of growth of each component of the system” (Lotka 1925:145). Retoma con esto la definición etimológica de equilibrio, al modelar situaciones en las que el impulso al crecimiento de las poblaciones se ve equilibrado por factores limitantes, resultando en un crecimiento cero. El conocido sistema de ecuaciones Lotka-Volterra (que revisaremos más adelante) es sólo uno de los ejemplos de metaestabilidad que Lotka presenta.

The equilibria in nature, involving countless species, are of course much more complicated in character, but the general principle is the same; and we expect that in general a variety of different equilibria are possible, some unstable and some stable. (Lotka 1925:60)

Considerando sistemas de ecuaciones con sólo dos variables (para simplificar), Lotka grafica al menos 10 tipos de equilibrio (1925: 128). Lotka señala que estos sistemas de ecuaciones que describen el crecimiento de poblaciones le definirán ciertas condiciones en las cuales es posible el equilibrio —los estados metaestables— (Lotka 1925: 59, 62). Las gráficas describen estados de “equilibrio

dinámico”, en las que el sistema presenta oscilaciones regulares en torno a puntos de equilibrio. Al respecto comenta que:

These conclusions are the analytical confirmation and extension of an inference drawn by Herbert Spencer on qualitative grounds:

Every species of plant and animal is perpetually undergoing a rhythmical variation in number—now from abundance of food and absence of enemies rising above its average, and then by a consequent scarcity of food and abundance of enemies being depressed below its average ... amid these oscillations produced by their conflict, lies that average number of the species at which its expansive tendency is in equilibrium with surrounding repressive tendencies. Nor can it be questioned that this balancing of the preservative and destructive forces which we see going on in every race must necessarily go on. Since increase of numbers cannot but continue until increase of mortality stops it; and decrease of number cannot but continue until it is either arrested by fertility or extinguishes the race entirely. (First Principles, Chapter 22, section 173)

It will be observed, however, that our analysis enables us to be considerably more specific in distinguishing several modes of approach to equilibrium, and in indicating the particular conditions under which each occurs. (Lotka 1925:61-62)

Todo esto coincide con lo que los ecólogos describen como estado “clímax” o estado de “madurez” (por oposición al estado previo de crecimiento): el sistema ecológico llega a su punto máximo de desarrollo, caracterizado por un máximo volumen de biomasa y un máximo aprovechamiento de la energía y tiende a estabilizarse. Decir “equilibrio dinámico” significa que no se trata de un estado estático y perfectamente estable, sino que incluye fluctuaciones, irregularidades, oscilaciones, pulsaciones, secuencias de crecimiento-decrecimiento-crecimiento-etc. pero todo ello *dentro de ciertos límites*. La función estabilizadora de los “factores limitantes” puede describirse en términos de mecanismos de retroalimentación negativa (*feedbacks* negativos) los cuales tienen precisamente

la función de mantener ciertas variables dentro de determinados límites, y mientras el sistema se ajuste a esos parámetros podemos decir que se encuentra en un estado metaestable. Dependiendo de la definición que hagamos del sistema, de cuáles son sus límites, decidiendo si los factores limitantes forman parte del sistema o de su “ambiente” exterior, podemos decir que la estabilización es producto de una *auto*-regulación o de una regulación impuesta desde el exterior. A esto se refería Lotka cuando hablaba de que los ecosistemas evolucionarán hasta un máximo “compatible con las limitaciones impuestas al sistema”.

Aunque Lotka no habla explícitamente de “decrecimiento”, el marco teórico que construyó presupone esta tercera posibilidad. Decir que los estados metaestables son sostenidos por un flujo continuo de energía (disipación, trabajo), implica reconocer que, en aquellos casos en que dicho flujo disminuya, el sistema no podrá mantenerse intacto: tendrá que encontrar alguna manera de ajustarse a los nuevos límites (menores) de energía y/o materiales disponibles, decrecer y reestabilizarse en un estado de menor disipación o desaparecer. Si debido a algún movimiento telúrico, por ejemplo, el flujo de energía y materiales en una chimenea submarina se ve reducido a la mitad, sólo la mitad de la población de bacterias quimioautótrofas podrá sobrevivir, y dicha reducción puede significar que, en alguno de los niveles superiores de la pirámide trófica, alguna especie ya no pueda conseguir el alimento necesario para la continuidad de su linaje reproductivo. Sin la presencia de esta última especie, otras dinámicas ecosistémicas pueden desestabilizarse, pero al quedar un nicho desocupado, es posible que otra especie lo ocupe y permita que el sistema entero se instale en un nuevo estado metaestable, adecuado a los nuevos límites de materia y energía disponibles. Estaríamos tentados a ver en esto un caso de “involución”, sin embargo, también podemos entenderlo como el mismo proceso de estabilización en torno a los límites de energía disponibles. En otros casos, esto último no será posible, si la reducción de energía es demasiado drástica, es posible que todo un clúster de organismos desaparezca en conjunto.

Al tomar una perspectiva evolutiva sobre los ecosistemas, observando las tendencias que conducen a su ensamblaje, resulta evidente que se trata de articulaciones que existen como tales en medio de un proceso de continuo cambio y evolución. Cada uno de los organismos que los componen, cada población, cada especie, existe en su propia historia de evolución adaptación, cambio y conservación, en la que hay resultados inesperados, contingencias, accidentes, soluciones creativas, variabilidad, etcétera. Es posible que organismos exógenos entren a competir por un nicho y ganen, generando desde pequeños cambios hasta la desestabilización del sistema completo, que puede mutar hacia un nuevo estado estacionario⁴⁹ o puede entrar en crisis y colapsar. La desaparición de una especie individual puede tener amplias repercusiones sobre todo un ecosistema: puede desencadenar la interrupción o disrupción de cadenas tróficas, ciclos de recirculación de nutrientes, mecanismos de autorregulación ecosistémica, etc. sin los cuales el ecosistema en conjunto no puede sostener sus niveles de productividad previos. Existe un vínculo entre la diversidad y la resiliencia: la capacidad adaptativa de un ecosistema ante los cambios y eventuales catástrofes se verá favorecida si una misma función ecológica es cumplida por más de una especie, si la recirculación de nutrientes tiene más de una vía, si los mecanismos de retroalimentación operan de varias maneras (redundancia). Además, el ambiente físico tiene variaciones accidentales o cíclicas, que incluyen desde fluctuaciones diarias, estacionales, y hasta en el orden de millones de años. La relativa estabilidad de los ecosistemas es más bien un permanente ajuste ante las perturbaciones, contingencias y hasta eventuales catástrofes: no se trata de una armonía eterna.

Como observó Lotka, “organic evolution, being a slow process, it takes a certain time, when equilibrium or near equilibrium is disturbed, for a new equilibrium or near-equilibrium to become established” (Lotka 1925:23). Grandes catástrofes y extinciones masivas se han presentado por diversas razones, desde

⁴⁹ Lotka sí incluye una discusión sobre situaciones en los que el punto de equilibrio de un estado metaestable se desplaza [*moving equilibria, displacement of equilibria*]

los famosos impactos de meteoritos hasta la disrupción ecológica ocasionada por una nueva especie (como en el caso de las cianobacterias púrpuras). Hasta ahora, en todas las ocasiones de extinción masiva, la vida se ha recuperado, es como si el proceso evolutivo “pusiera a cero” su reloj en cada episodio de extinción masiva, reiniciando el ensamblaje ecosistémico una y otra vez. Si la ocurrencia de ciertas catástrofes (como grandes incendios, terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, glaciaciones, impactos de meteoritos, etc.) se presenta con cierta regularidad, lo que obtendremos es un patrón en forma de sierra. Después de una extinción masiva, el número promedio para la restauración del número de especies a las cifras anteriores parece ser de entre 20 y 50 millones de años (Schneider y Sagan 2008:310).

2.3.6. Sucesión ecológica

Se considera que los escritos de Alfred Lotka marcan el inicio de la ecología termodinámica, un diálogo interdisciplinario que, aunque relativamente reciente, ya cuenta con un considerable acervo de investigación empírica. En *La termodinámica de la vida*, Schneider y Sagan presentan un valioso compendio que permite observar patrones comunes a distintos niveles. Sería difícil intentar contrastar empíricamente los postulados de la evolución energética de los ecosistemas que hemos revisado en los últimos apartados, sin embargo, los mismos patrones se han observado en otras escalas, éstas sí accesibles a la observación directa.

Ramón Margalef (1968) ha observado que el mismo proceso de evolución en el sentido de una “madurez creciente” se observa tanto en la sucesión ecológica como en la evolución de los ecosistemas. La primera ocurre con un acervo genético fijo en unos cientos de años, mientras que la segunda dispone de un acervo genético variable y transcurre en el orden de millones de años (Schneider y Sagan 2008:289). No obstante, en ambos casos se observan ciclos con una fase inicial de crecimiento rápido seguida de una fase de estabilización; en ambos

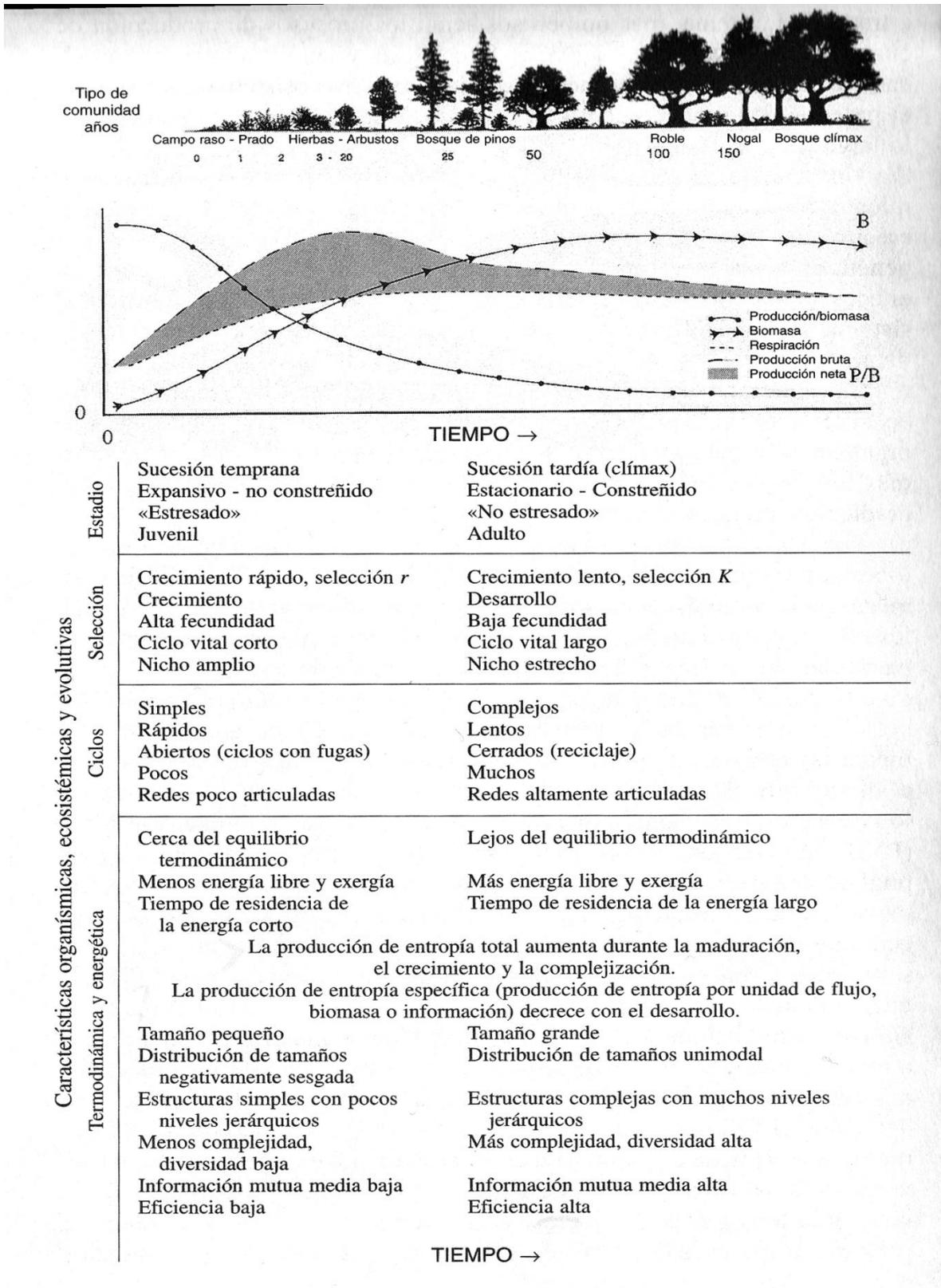
casos se observa una diversificación de especies, la progresiva ocupación de todos los nichos disponibles, complejización de las redes tróficas, la especialización e incremento de la eficiencia, la multiplicación de los ciclos de recirculación de materiales y la tendencia hacia el máximo aprovechamiento de la energía disponible.

Ya en el siglo XIX, Henry David Thoreau había descrito la sucesión ecológica, un patrón subyacente al modo en que los campos abandonados se convertían en herbazales, después en matorrales, árboles de crecimiento rápido y finalmente árboles longevos de crecimiento lento. Casi dos siglos después, luego de muchas observaciones repetidas, el ciclo de la sucesión ecológica ya es bien conocido. Se han descubierto muchas variantes sucesionales, pero todas muestran el mismo patrón de colonización, crecimiento y madurez. (Schneider y Sagan 2008:239)

es difícil aducir que las regularidades tienen una base genética. Pese a que los ecosistemas varían enormemente en cuanto a su acervo genético, manifiestan la misma tendencia a crecer hasta un límite. Si los contemplamos termodinámicamente, sin embargo, su comportamiento común tiene sentido. El ecosistema maduro representa un sistema que ha explorado todas las rutas disipativas posibles de “dinero fácil” y ahora camina despacio con las cantidades óptimas de energía captadas y degradadas por su sistema. (Schneider y Sagan 2008:139)

Avanzando sobre esta misma idea, en *Fundamentals of Ecology*, Eugene Odum (1971) señala que la sucesión ecológica es un proceso ordenado de desarrollo de la comunidad que es razonablemente direccional y, por consiguiente, predecible; que resulta de la modificación del medio físico por la comunidad ecológica y que culmina en un ecosistema estabilizado en el nivel máximo de biomasa y de función simbiótica entre organismos por unidad de flujo de energía. (Schneider y Sagan 2008:247-248) La curva B en la gráfica de la siguiente página representa el incremento de la biomasa⁵⁰ a lo largo de la sucesión, crecimiento que típicamente

⁵⁰ La biomasa —la materia que ha sido incorporada a procesos biológicos— suele medirse en gramos de material seco por metro cuadrado.



Cambios en las características ecosistémicas a lo largo de la sucesión (Schneider y Sagan 2008: 250)

se observa como una curva ascendente que se estabiliza en un nivel asintótico, patrón en el que se observa un paralelismo también con el crecimiento de un organismo pluricelular hasta estabilizarse en el tamaño adulto. Como un sistema autocatalítico, la biomasa crecerá hasta topar con los límites del entorno local, punto en el cual deja de haber crecimiento y la curva en la gráfica se hace horizontal. Este crecimiento “representa el hallazgo y la apertura por parte del ecosistema de nuevas vías para degradar la energía disponible” (Schneider y Sagan 2008:248).

Finalmente, el sistema termodinámico llega al límite de su crecimiento y la energía antes invertida en la expansión se re canaliza internamente, manifestándose como diversidad, diferenciación y reciclaje incrementado (Schneider y Sagan 2008:290)

Aunque en los siguientes extractos no citan explícitamente a Lotka, Sagan y Schneider coinciden en señalar la misma dinámica de ocupación progresiva de nichos ecológicos que, para permitir la sobrevivencia de las especies involucradas, progresa hacia formas estables.

Como una nueva hoja en un árbol o un nuevo negocio en la economía global, cada nueva especie representa una nueva vía para la captación acumulación y degradación de energía. Las nuevas especies encuentran gradientes y hábitats infrautilizados, y se apropian de ellos. (Schneider y Sagan 2008:296)

Los sistemas de crecimiento rápido (sistemas que a través de la evolución, la tecnología o ambas cosas son capaces de explotar gradientes hasta entonces no reconocidos o explotados) pueden propagarse como incendios forestales. Pero como las rugientes llamas, se despojan a sí mismos de sus propios recursos. (Schneider y Sagan 2008:203-204)

...cuando los organismos, a través de su evolución, acceden a una nueva fuente de energía, puede haber un periodo peligroso de experimentación y expansión rápida. Las nuevas formas de energía, aunque útiles, aún tienen

que integrarse en modos de supervivencia estables. (Schneider y Sagan 2008:193)

Si pensamos en el ecosistema como un sistema disipativo, cuanta más energía se capta y fluye a través del sistema, más numerosos serán los procesos de producción de entropía, como la transpiración, la fotosíntesis y las reacciones metabólicas, los cuales degradan la energía entrante. En los ecosistemas, la biomasa, el procesamiento energético total y la producción de entropía aumentan a lo largo de la sucesión. En el clímax el sistema se encuentra en un estado cuasi-estacionario. (Schneider y Sagan 2008:248-249)

Tal y como vimos, habiendo disponibilidad de energía, los ecosistemas se desarrollan en el sentido de un progresivo incremento de diversidad biológica. La diversidad de organismos que es posible encontrar en un ecosistema está directamente relacionada con la disponibilidad de energía.

El ecólogo Jim Brown, de la Universidad de Nuevo México, correlacionó la diversidad de especies con la *energía disponible* (exergía). De acuerdo con Brown, el factor clave para el sostenimiento de la vida “es la disponibilidad de energía utilizable (exergía). La energía utilizable puede definirse como cualquier sustancia esencial que los organismos tienen la potencialidad (dadas sus ligaduras) de extraer de su entorno y emplear para realizar trabajo útil de supervivencia y reproducción”. Cuanta más energía disponible, más prole puede mantener un hábitat, y mayor es el número de organismos y especies. (Schneider y Sagan 2008:302)

De entre los diversos factores que condicionan la distribución de la diversidad biológica en el planeta, uno de los patrones de correlación más fácilmente observables responde a la latitud geográfica: debido al ángulo en que se recibe la radiación solar, hay más energía disponible en el ecuador que en los polos, por lo que la diversidad biológica puede desarrollarse más entre los trópicos. “Hay una marcada correlación entre disipación de energía, transpiración y diversidad de especies. Las tres variables se maximizan en las selvas ecuatoriales” (Schneider y Sagan 2008:289).

Un incremento en la diversidad interna de los ecosistemas implica mayor número de interconexiones. De acuerdo con Odum, las cadenas tróficas de los estadios tempranos de la sucesión son simples y lineales, en cambio, las cadenas tróficas maduras son más complejas, con más ciclos (Schneider y Sagan 2008:253). Observar con detalle la disponibilidad de energía en cada parte del sistema ecológico permite entender la aparición de patrones comunes en las redes tróficas de un ecosistema. Las “redes tróficas” (concepto que reemplaza al de “cadenas alimentarias” por ser éste demasiado lineal) representan gráficamente la circulación de la energía y la materia a través del ecosistema. Clasificando a los organismos por niveles tróficos, Raymond Lindeman observó que la cantidad de energía que podía subir de un escalón a otro era limitada. No toda la energía de un nivel podía ser aprovechada por los organismos de un nivel superior: los límites en la eficiencia energética de cada organismo implicaban una pérdida entrópica en cada paso.

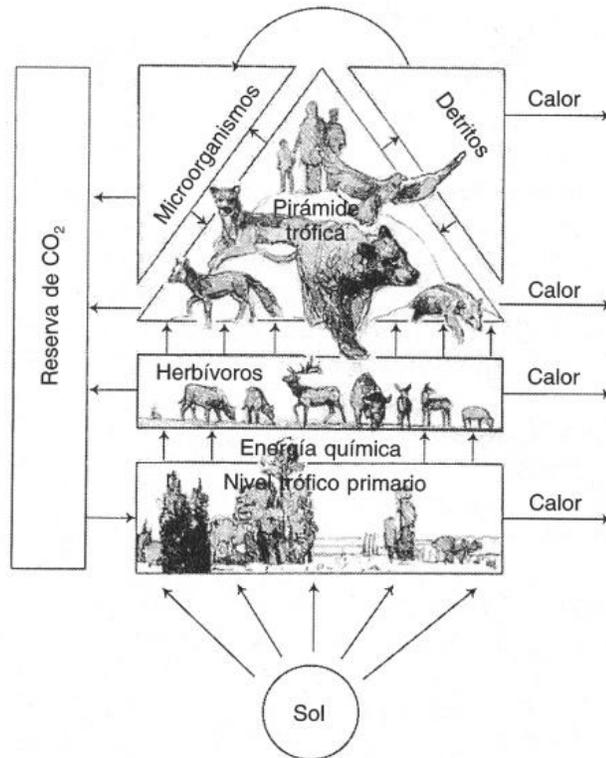
Sólo alrededor del 1% de la energía que incide sobre una planta se convierte en materia viva. El otro 99% o bien se refleja de vuelta al espacio, o bien se emite en forma de calor de baja calidad (Schneider y Sagan 2008:253). En los eslabones superiores de la cadena (de conejos a zorros, por ejemplo) esta transferencia es más eficiente, alcanzando hasta un 25%, sin embargo, las pérdidas entrópicas tienen un efecto acumulativo, por lo que incluso con mayor eficiencia de conversión, la energía disponible es más limitada. A causa de este “peaje entrópico”, encontramos pirámides tróficas con grandes reservas de energía en los niveles inferiores y menos en los superiores (Schneider y Sagan 2008:241-242). Odum mostró que es difícil mantener una pirámide trófica con más de cinco o seis niveles, debido a la ineficiencia de la transferencia de energía de un nivel a otro. (Schneider y Sagan 2008:253)

En su influyente ensayo *Por qué son escasas las fieras* (1978), el biólogo Paul Colinvaux postulaba que la pérdida secuencial de energía a medida que se asciende por los niveles tróficos no sólo limitaba el número de predadores de orden superior, sino que los animales de un nivel sumaban

una biomasa diez veces mayor que la del nivel inmediatamente superior. (Schneider y Sagan 2008:242)

De manera semejante, se ha observado que existe una relación entre el tamaño de los organismos y la diversidad a escala regional. Abundan especies de tamaño reducido mientras que las grandes —que necesitan más energía para mantenerse— son relativamente escasas. (Schneider y Sagan 2008:304-305)

La circulación de la materia y la energía dentro del ecosistema cambia a lo largo de la sucesión. Al principio los ciclos son cortos, abiertos y rápidos. En los ecosistemas maduros ocurre todo lo contrario: los ciclos son largos, complejos y cerrados (Schneider y Sagan 2008:254). Los ecosistemas, cuyos ciclos energéticos y materiales aumentan mensurablemente en cantidad y magnitud según avanza la sucesión, también dan fe del incremento del reciclado de base termodinámica (Schneider y Sagan 2008:290). Los ecosistemas jóvenes, tienden a dejar escapar nutrientes, mientras que los ecosistemas maduros retienen y reciclan gran parte de sus recursos dentro del sistema (Schneider y Sagan 2008:253).



Flujo de energía a través de un ecosistema (Schneider y Sagan 2008: 243)

Con los estudios recopilados por Sagan y Schneider también es posible observar, a nivel de sucesión ecológica, las “dos tendencias opuestas” que analizamos en los apartados precedentes: conforme todos los nichos se ocupan y toda la energía

disponible es aprovechada para realizar el máximo de trabajo biológico compatible con las limitaciones del sistema, el desarrollo de los ecosistemas implica un progresivo aumento de la producción de entropía total, sin embargo, al mismo tiempo, se observa una disminución de la producción de entropía específica (producción de entropía por unidad de flujo, biomasa o información), medida que implica una eficiencia incrementada.

Una curva especialmente importante en la figura [de la p. 191] es la del cociente producción/biomasa a lo largo del tiempo. La razón P/B representa la producción primaria (P) de un sistema dividido por su biomasa (B), por unidad de superficie [...] la razón P/B indica cuánta producción primaria se requiere para sustentar una unidad de biomasa, correlacionándose con la eficiencia del sistema. En 1978 Matsuno mostró que la razón P/B equivale a una medida de la entropía específica del ecosistema (Schneider y Sagan 2008:252)

Observando la figura de la p. 191 podemos ver que, lógicamente, conforme la curva B de la biomasa se estabiliza (cuando el ecosistema deja de crecer), la curva de “producción de biomasa” alcanza sus niveles mínimos. La producción de biomasa es una forma de trabajo biológico, y como tal, implica disipación de energía. Conforme el sistema alcanza su estado de madurez, invierte cada vez menos energía en crecer. El cociente P/B constituye una síntesis de estas dos dinámicas en una sola variable: observamos que conforme incrementa la biomasa disminuye la producción de biomasa. Un árbol que ya no necesita invertir energía para crecer puede hacer un uso más eficiente de la energía disponible: puede satisfacer sus necesidades biológicas con menor disipación por unidad de biomasa. En esto también se observa un patrón común entre el crecimiento de ecosistemas y el de organismos individuales:

Los datos de organismos y ecosistemas muestran que, a medida que estos biosistemas maduran, su tasa metabólica desciende, al igual que la producción de entropía específica. El descenso de la tasa metabólica va acompañado de una desaceleración del crecimiento, que culmina en una

eficiencia incrementada en la madurez. [...] Como los organismos adultos, el ecosistema maduro puede mantenerse con la misma importación de energía y/o materia, o menos. (Schneider y Sagan 2008:252)

Los ecosistemas maduros y los organismos adultos presentan una menor producción de entropía por unidad de masa, aunque procesen más energía (y produzcan más entropía en total). Alcanzan tamaños máximos. Los niños tienen temperaturas basales más altas que los adultos, en correspondencia con sus tasas de crecimiento mayores, pero con el tiempo se vuelven adultos y entonces requieren menos calorías por unidad de masa. En cuanto dejan de crecer, canalizan la energía en operaciones de mantenimiento, y hacen un uso más eficiente de ella. (Schneider y Sagan 2008:259)

Sagan y Schneider presentan un conjunto de experimentos que evidencia que los ecosistemas maduros realmente degradan el contenido de exergía de la luz solar de manera más completa que los ecosistemas menos maduros (Schneider y Sagan 2008:279). Una manera en que podemos medir el aprovechamiento de la energía es comparando la energía solar entrante con la temperatura superficial de la energía reemitida por el ecosistema al espacio.

Si ecosistemas dispares reciben la misma cantidad de energía incidente, esperaríamos que el más maduro reemitiese su energía con el nivel más bajo de exergía, esto es, el ecosistema más maduro tendría la temperatura más baja (Schneider y Kay en Schneider y Sagan 2008:278)

Utilizando las mediciones obtenidas vía satélite mediante dispositivos de medición remota de las temperaturas de diversos ecosistemas a pleno sol en un día despejado, Eric Schneider y James J. Kay evidenciaron una reducción de gradientes superior en los ecosistemas más complejos. Incapaces de degradar tanta energía, los ecosistemas inmaduros, como las praderas, presentaban temperaturas más cálidas que los ecosistemas forestales maduros. (Schneider y Sagan 2008:280)

Pierre Sellers y Yale Mintz de la NASA también analizaron una base de datos de temperaturas tomadas por satélite comparando cuatro grandes ecosistemas: la inmensa selva ecuatorial de la cuenca amazónica, las regiones central y oriental de Estados Unidos (un mosaico de ciudades, tierras cultivadas, praderas y bosques), una región de Asia que incluía selvas tropicales y tierras cultivadas, y el desierto del Sahara.

En el Sahara, el 41% de la energía incidente se reemite como radiación de onda larga, mientras que en la cuenca amazónica sólo se reemite el 17%. En la selva, las hojas captan energía, transpiran y producen estructuras, en vez de reflejar la energía de vuelta al espacio. Como podría esperarse, la cuenca amazónica y el este norteamericano tienen tasas de transpiración elevadas: los ecosistemas forestales de estas regiones degradan respectivamente el 70% y el 61% de la radiación incidente, mientras que en el Sahara el porcentaje se reduce al 2%. (Schneider y Sagan 2008:282)

Un tercer conjunto de datos fue analizado por Jeffrey Luvall y H. R. Holbo, quienes utilizaron un termómetro especial montado sobre la parte baja de un avión para medir las temperaturas ecosistémicas sin el problema de la obstrucción de las nubes. Sus datos proporcionan evidencias adicionales de que los ecosistemas más complejos reducen más eficazmente el gradiente solar. Compararon las mediciones de terrenos con distinto grado de desarrollo ecosistémico, desde una cantera pelada hasta un bosque de 400 años de edad. Comparando la energía incidente neta con la energía de baja calidad que ya no es convertible en trabajo, observaron que la cantera degradaba tan sólo el 62% de la energía incidente mientras que el bosque de 400 años degradaba el 90%. La temperatura de la cantera y el bosque talado superaba los 50°C mientras que la del bosque de 400 años no pasaba de 25°C. (Schneider y Sagan 2008:283-284)

Todos estos datos coinciden con el marco teórico presentado en los apartados precedentes. La perspectiva termodinámica permite entender el desarrollo de los ecosistemas en el sentido de un mayor aprovechamiento de la energía, una diversidad creciente, incremento de ciclos, flujos y relaciones

internas, lo que puede describirse como un incremento de la complejidad ecosistémica. En este sentido:

los ecosistemas se comportan igual que otros sistemas termodinámicos: crecen, reciclan materiales y se desarrollan de manera predecible en respuesta a un flujo de energía medioambiental. También de manera predecible, experimentan una regresión cuando se ven privados de energía o de su aprovechamiento debido al deterioro. Los ecosistemas estresados revierten hacia estadios previos en su desarrollo de un modo análogo al comportamiento de otros sistemas termodinámicos privados de flujo de energía. (Schneider y Sagan 2008:22)

Como vimos en el Capítulo 1, los sistemas disipativos pueden evolucionar hacia formas más complejas si hay energía suficiente y bajo las condiciones adecuadas, pero si el flujo de energía que los sostiene disminuye, los observaremos regresando a formas de organización más simples, más primarios, que operan con una menor disipación de energía: es el caso de los vórtices de Taylor, cuyos pares de remolinos disminuyen cuando disminuye el gradiente de presión. “Tanto en los sistemas vivos como en los no vivos, la reversión a modos anteriores es inducida por una reducción del flujo de energía”. (Schneider y Sagan 2008: 258-259)

Los ecosistemas sometidos a estrés experimentan una regresión. La pérdida de diversidad es una muestra obvia de deterioro ecológico que puede responder a muchas causas. Cuando deliberadamente se elimina a las especies que conforman el estadio clímax, el ecosistema revierte a fases inmaduras de la sucesión. Los estudios de Kenneth Sherman y colaboradores sobre ecosistemas marinos expuestos a los efectos de la pesca comercial documentan el modo en que la extracción de las especies de gran tamaño y con un ciclo vital largo —representativas de la comunidad clímax— se asocian con una superpoblación de peces pequeños:

He aquí un ejemplo de sucesión empujada hacia atrás [...] La extracción de estos peces retornaba el ecosistema a fases sucesionales anteriores, caracterizadas por una mayor representación de especies de ciclo vital más

corto. Esta reversión ecosistémica parece ser universal. Recortar el suministro de energía o alterar la integridad interconectada del ecosistema menoscaba su capacidad degradativa, forzándolo a volver a fases inmaduras que ya había superado. (Schneider y Sagan 2008:258)

Lo mismo sucede cuando tálamos un bosque de roble y abeto, forzamos al sistema a regresar a un estadio de complejidad anterior en el que predominan las especies colonizadoras. En el bosque experimental de Hubbard Brook, en New Hampshire, el equipo de Gene Likens y F. Herbert Bormann ha documentado los efectos que tiene sobre el ecosistema la tala de árboles y el uso de herbicidas.

los investigadores registraron el flujo de agua y nutrientes a través de la cuenca de drenaje, y compararon estos datos con los de cuencas de drenaje similares, situadas en el bosque circundante, que no habían sido taladas ni fumigadas.

Los resultados fueron espectaculares. La escorrentía —la fuga de agua— del sistema deforestado aumentó un 39% el primer año y un 28% el segundo año. Revertido a causa de los herbicidas a una fase sucesional muy temprana, la integridad del ecosistema declinó drásticamente. Ahora dejaba escapar su recurso más valioso, el agua. Otros materiales valiosos, como el fosfato y el nitrato, también se perdían a una tasa mucho mayor que en las cuencas no degradadas. La pérdida de nitrato se multiplicó por más de cuarenta, lo cual implicaba que en el área tratada con herbicidas había mucho menos nitrógeno disponible para la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos.

Dos años después, el nitrato escapaba a una tasa 56 veces mayor que la de los ecosistemas no perturbados. Mientras que el ecosistema maduro retenía y reciclaba los nutrientes y el agua, el ecosistema degradado estaba perdiendo sus reservas. Las compuertas se habían abierto y las tasas de pérdida de nutrientes se dispararon: 417% para el Ca^{++} (calcio), 408% para el Mg^{++} (magnesio), 1554% para el K^+ (potasio) y 177% para el Na^{++} (sodio). El pH del agua corriente de la cuenca también

bajó (se hizo más ácido). Además, el agua se calentó, por la ausencia de árboles que dieran sombra, y se enturbió, debido a los sedimentos que arrastraba cuenca abajo.

El ecosistema «estresado» perdía nutrientes, agua y sedimentos. (Schneider y Sagan 2008:265-266)

Mark Homer, Mike Kemp y Henry McKellar —discípulos de Howard Odum— estudiaron los efectos del incremento de la temperatura del agua ocasionado por una central nuclear sobre las marismas adyacentes en la costa sur de Florida. Comparando el ecosistema estresados con ecosistemas “control”, observaron que el primero decreció hasta tener un 34.7% menos de biomasa. (Schneider y Sagan 2008:266)

Una vez más, el ecosistema había “enfermado” y “perdido peso”. Igualmente, la circulación energética total había caído casi un 21% [...] El ecosistema estresado había regresado a un estado inmaduro, menos funcional.

Aún peor, la compleja red trófica quedó seriamente comprometida: el número de ciclos se redujo a la mitad, con lo que el ecosistema estresado perdió buena parte de su capacidad de reciclaje. El agua caliente de la central nuclear mermó drásticamente la capacidad del sistema para retener el material que había incorporado. Dejaba escapar nutrientes y energía por todas partes. A partir de este ejemplo y los anteriores, podemos ver claramente que el estrés empuja a los ecosistemas a estadios de desarrollo inmaduros. Su funcionamiento se simplifica y su diversidad se reduce. (Schneider y Sagan 2008:267)

Otro estudio analizó los efectos de contaminación de petróleo y derivados en los ecosistemas marinos. Los ecólogos de la Agencia de Protección Medioambiental estadounidense encontraron que, tras 160 días de contaminación con gasóleo la razón P/B paso de 1 (valor propio del estado estable en el que la eficiencia es alta y la producción de entropía específica es muy baja) a un valor de 230, y aún después de suspenderse la exposición a gasóleo continuó aumentando hasta 250:

una tasa metabólica muy acelerada e ineficiente, que implicaba un incremento en la producción de entropía total. La razón P/B es una importante medida de la salud ecosistémica y el progreso sucesional, Margalef y Odum subrayaron que proporciona una especie de “temperatura” metabólica del ecosistema (Schneider y Sagan 2008:252) El ecosistema perdía peso; “de modo muy parecido a lo que pasa con un animal enfermo, el metabolismo se aceleró (como evidenciaba el incremento en la razón P/B y de la producción de entropía específica)” (Schneider y Sagan 2008:264). Sin embargo, tras el día 80 sin contaminación, la razón P/B volvió a sus niveles bajos originales: el sistema regresó a su estado de equilibrio dinámico estacionario previo al episodio. “Una vez aliviado el estrés, el ecosistema retornó a su estado dinámico pero estable de disipación mínima por unidad de peso. Se había librado de su «fiebre»” (Schneider y Sagan 2008:264).

El estrés eleva la producción de entropía y disminuye la eficiencia. Cuando el estrés remite, sin embargo, el sistema vuelve a la normalidad metabólica. El rango metabólico evidencia la naturaleza dinámica de la producción de entropía en organismos sensibles a las fluctuaciones de su entorno. La elasticidad metabólica permite a los organismos ajustar su consumo de energía para sobrevivir a los tiempos difíciles. (Schneider y Sagan 2008:262)

En ecosistemas maduros encontramos una gran diversidad de especies, organismos altamente especializados que ocupan nichos ecológicos reducidos de la manera más eficiente posible. En ecosistemas inmaduros, de baja productividad biológica o sometidos a una regresión forzada, los organismos especialistas se ven aventajados por organismos generalistas, con nichos ecológicos más amplios y que se superponen entre sí. En los ecosistemas cuya diversidad decae durante una gran perturbación y se recupera a lo largo de la sucesión subsiguiente observamos la misma pauta: viéndose reducidos a estados inmaduros, reinician su proceso de crecimiento y articulación hacia el estado clímax.

La curva de recuperación de la biomasa en ecosistemas severamente estresados muestra una pauta en diente de sierra [...] el crecimiento se

reanuda a rachas y describe un lento ascenso hacia la madurez. (Schneider y Sagan 2008:260)

En general, las catástrofes no destruyen la totalidad de un ecosistema⁵¹, un incendio, por ejemplo, consumirá sólo ciertas zonas. Los estados clímax perfectos (con una homogeneidad total) son una abstracción, no existen, lo que observamos más bien es un mosaico formado por parches en distinto estado relativo de inmadurez/madurez. (Schneider y Sagan 2008:257)

El hecho de que existan periodos de regresión y transición en la historia de la biósfera no contradice la afirmación de que el sistema en conjunto tiende hacia dicho estado, postular una tendencia hacia un estado metaestable no implica que dicho estado se vaya a mantener en un equilibrio perfecto para siempre. Más bien debemos observar que, ante perturbaciones, cambios internos o externos y contingencias ambientales (incluyendo enormes impactos de meteoritos), la vida responde una y otra vez en la misma dirección. La diversidad biológica le permite adaptarse de manera más resiliente a las perturbaciones, e incluso en casos de pérdida catastrófica de diversidad —mientras se mantenga la continuidad de la vida en el planeta— el impulso permanente hacia la diversificación permitirá la recuperación del sistema.

Recapitulando. Los estudios presentados por Sagan y Schneider muestran que los ecosistemas inmaduros y estresados tienen menos flujo de energía total, menos eficiencia en el aprovechamiento de la energía, menos ciclos, menos circulación de materiales, menos interconectividad y más pérdida de nutrientes y agua que los

⁵¹ Ulanowics señala que por encima de cierto punto, un incremento de la interconectividad incrementa la fragilidad del sistema. Un sistema interconectado al 100% es tan frágil como un sistema con una única conexión. La conectividad óptima se situaría en torno al 50%. Kauffman demostró que una interconectividad por encima de 50% hace que el sistema coagule en grumos interconectados que actúan como un único nodo. Cuando estos coágulos aumentan de tamaño, pierden su diversidad y la estabilidad asociada a ella. [...] La interconectividad ecológica es el equivalente biológico de poner todos los huevos en una misma cesta (cuya eventual caída tendrá consecuencias desastrosas) (Schneider y Sagan 2008:255)

ecosistemas maduros y saludables. (Schneider y Sagan 2008:268) Con esto vemos que, en efecto, los mismos principios rigen la evolución biosférica y la sucesión ecosistémica.

2.3.7. Interdependencia y equilibrio *interspecies*

Contra aquella idea de que la competencia entre organismos egoístas es lo único que importa, vemos en cambio que, conforme el proceso evolutivo avanza, la vida de los organismos se hace más y más interdependiente, tejiendo progresivamente una compleja red —la Red de la Vida— en la que se observa un incremento de la función simbiótica (Odum) con cada vez más mecanismos de retroalimentación y relaciones no lineales al interior de los ecosistemas.

Interpretado correctamente, el principio de Lotka describe esta progresiva articulación en redes de interdependencia y no la supuesta supremacía de los organismos más acaparadores de energía, como usualmente se ha querido entender. Entre los organismos que habitan un mismo nicho (entre organismos que se alimentan de los mismos recursos) habrá competencia en la que podemos decir que los “más aptos” (los más eficientes) ganan, sin embargo, considerando nichos distintos, no tiene ningún sentido preguntar quién es “más apto” para la supervivencia: los organismos de cada nicho estarán adaptados para aprovechar recursos distintos. Dos especies que aprovechan recursos similares (cuyos nichos se superponen en cierto grado) pueden competir entre ellas hasta que, en casos extremos, una elimina a la otra, o pueden divergir y especializarse para aprovechar recursos distintos y llegar a un punto de coexistencia. Entre organismos de nichos distintos no habrá competencia; puede haber, en cambio, relaciones de dependencia e interdependencia.

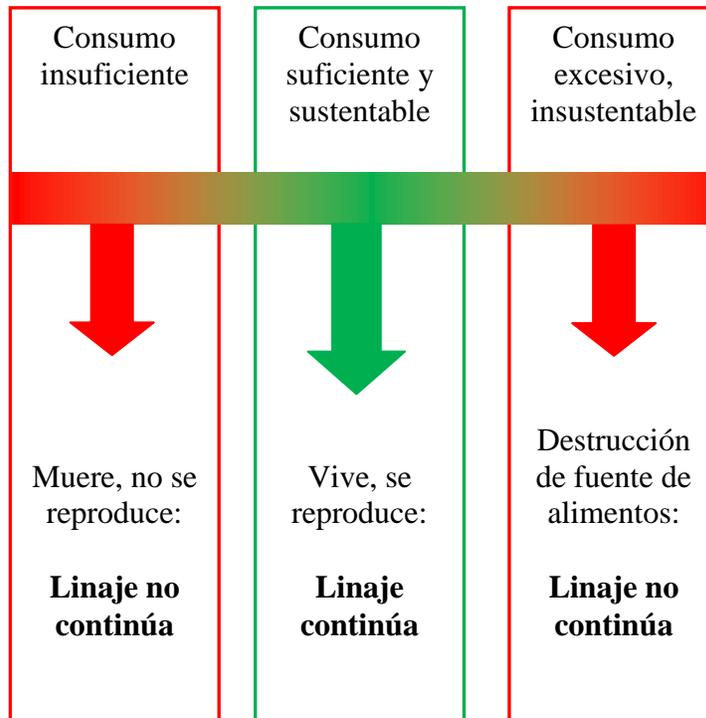
Lotka (1925) también vio que cada vez que un organismo evoluciona para aprovechar los materiales que de alguna manera provienen de la autopoiesis de otro organismo (como el oxígeno atmosférico), se establece una relación de dependencia: la continuidad de la autopoiesis del primero ahora depende también

de la continuidad de la autopoiesis del segundo. En el caso de la relación entre organismos respiradores y fotosintetizadores, por ejemplo, la relación puede describirse como complementaria, interdependiente, mutuamente beneficiosa, cooperativa o simbiótica.

En el caso de cualquier organismo heterótrofo, su éxito reproductivo no puede verse sólo en términos “individuales” (sólo en términos de dicha especie) sino que debe entenderse como parte de un sistema mayor que incluye a los autótrofos de los que depende y a las fuentes de energía y materiales de las que, a su vez, dependen estos últimos. Podemos imaginar poblaciones de organismos heterótrofos que crecerán exponencialmente hasta el punto en que literalmente devoren a la totalidad de los autótrofos de los que dependen. Si la población de autótrofos es completamente eliminada, no habrá más fuente de alimento para los heterótrofos: tras el periodo inicial de crecimiento exponencial vendrá el colapso y la extinción de ambas poblaciones. Demasiado “éxito” reproductivo por parte de los heterótrofos puede conducir a la destrucción del sistema del cual dependen: si no permiten la continuidad de la vida de las poblaciones de las que se alimentan, su propio “éxito” reproductivo será su perdición. Se trata de la pesadilla de Malthus: el crecimiento exponencial de las poblaciones puede conducir al colapso por rebasar los límites de abastecimiento de alimentos. Si esto ocurre, para continuar viviendo deberán encontrar otra población de la que puedan alimentarse, por ejemplo migrando a ecosistemas vecinos, pero habrá ocasiones en las que sea imposible migrar (por ejemplo en estanques pequeños).

A diferencia de lo que sucede con los autótrofos que obtienen su alimento a partir de fuentes abióticas como las chimeneas submarinas o la energía solar, los heterótrofos se alimentan de poblaciones que pueden extinguirse por sobreexplotación, cambios ecológicos o climáticos. Las poblaciones de bacterias quimioautótrofas y fotoautótrofas podrán crecer hasta donde los límites biofísicos se los permitan (límites impuestos por el flujo de energía y la eficiencia metabólica), viéndose forzadas a estabilizarse una vez alcanzados estos límites, sin embargo, su crecimiento no pone en riesgo la continuidad del flujo que las alimenta: ni las chimeneas volcánicas ni la radiación solar van a agotarse o a ser

destruidas por sobreexplotación. La situación para cualquier heterótrofo será fundamentalmente distinta. Si bien pueden encontrar también “fuentes” estables de materia-energía para alimentarse —una población de autótrofos estabilizada—, estas “fuentes” consisten en poblaciones de organismos vivos que, por definición, pueden morir como consecuencia directa o indirecta de la depredación heterótrofa (si bien hay casos de parasitismo y comensalismo en donde no es así).



El desafío de la supervivencia para los heterótrofos

A diferencia de otros sistemas disipativos, para existir, los seres vivos requieren de una cadena ininterrumpida de continuidad reproductiva. Si bien se originaron a partir de condiciones abióticas, las condiciones actuales (atmósfera oxidativa) dificultan un “segundo origen de la vida”, no hay “generación espontánea”, todos los seres vivos que observamos a nuestro alrededor provienen directamente, necesariamente, de otro ser vivo. Si se interrumpe esta continuidad reproductiva, las especies se pierden para siempre (extinción). Para una población de heterótrofos, los límites al crecimiento estarán impuestos por los límites de la capacidad reproductiva de los organismos de los que se alimentan, la cual a su

vez depende de la biocapacidad del ecosistema que forman en conjunto. Evidentemente, si por alguna contingencia ambiental (independiente de la conducta de los heterótrofos) la población de autótrofos se destruye, la población de heterótrofos se extinguirá con ella. Lo mismo ocurre si el desarrollo de la población heterótrofa destruye la población autótrofa de la que se alimenta. En muchos casos será posible que una población de heterótrofos se desarrolle —por un tiempo limitado— ocasionando la destrucción de más organismos autótrofos que los que la población de estos últimos es capaz de reponer. Esto puede suceder de varias maneras, tanto por sobreexplotación directa, como por excesiva producción de desechos (si estos de alguna manera, directa o indirectamente, resultan nocivos para los autótrofos), por alteración del hábitat, etc. Sin embargo, a mediano plazo, si no hay otras fuentes de alimento disponibles, tal situación conducirá al colapso del sistema y la extinción de ambas poblaciones. Al igual que en el caso del agotamiento de reservorios con tasa de reposición limitada, puede haber colapso total (extinción completa de una o ambas especies) o colapso parcial y ajuste a tamaño sustentable.

El modelo Lotka-Volterra permite ver de manera gráfica un caso muy interesante. Se trata de un sistema formado por dos ecuaciones diferenciales que se utiliza para modelar el comportamiento de poblaciones que afectan mutuamente su tasa de reproducción. Para los propósitos que aquí interesan, imaginemos un pequeño ecosistema habitado por una población “A” de heterótrofos “presa”, y otra población “B” de heterótrofos “depredadores” que se alimenta de los primeros. Como se puede ver, dada la dependencia trófica entre las poblaciones, el comportamiento de cada población tendrá una influencia sobre la tasa reproductiva de la otra: el éxito o fracaso reproductivo de una afectará la dinámica poblacional de la otra. Podemos utilizar las ecuaciones Lotka-Volterra para modelar la interacción presa-depredador entre las poblaciones A y B. Supongamos que, inicialmente, la especie B encuentra abundancia de alimento en el ambiente: los autótrofos de los que se alimenta por lo pronto son tan numerosos que no representan un límite para el crecimiento de la población A. En el modelo, que simplifica un poco las cosas para poder modelarlas, no existe ningún otro

depredador para A aparte de B, y B no puede encontrar otro alimento que no sea A (de esta manera, la depredación de B es el único factor que limita el crecimiento poblacional de A, y la abundancia o escasez de A es el único factor que limita el crecimiento de la población B. Ninguna de las especies puede emigrar del ecosistema: supongamos que están en un estanque cerrado o en una isla pequeña. Sin entrar en los detalles matemáticos del modelo, podemos imaginar algunas de las dinámicas posibles para el sistema: si la población de los depredadores (B) se multiplica al grado que acaba con todas las presas (A), tendremos un caso de pesadilla malthusiana donde ambas poblaciones colapsan. En cambio, si los depredadores (B) desaparecieran, la población presa (A) podría multiplicarse libremente. (Esto no necesariamente es una situación feliz para A: si se reproducen demasiado podrían acabar con la población de autótrofos de los que se alimentan cayendo en su propia pesadilla malthusiana de sobrepoblación y agotamiento de recursos.)

Pero más que caer en situaciones de agotamiento total y colapso (pesadillas malthusianas) lo que el sistema de ecuaciones predice es la existencia de algunos puntos de equilibrio (atractores de ciclo límite) en torno a los cuales ambas poblaciones (A y B) pueden estabilizarse. Las poblaciones pueden oscilar o pulsar en torno a estos puntos de equilibrio, manteniendo ambas poblaciones dentro de ciertos límites de manera que el sistema no colapsa sino que se instala en un estado de equilibrio dinámico. Si observamos al conjunto de las poblaciones como un sistema, podemos decir que el sistema se “autorregula”. La población presa (A) por sí misma no regula su crecimiento pero al observarla junto con la población depredadora (B) podemos decir que, en conjunto, se autorregulan (el prefijo “auto” es un tanto arbitrario, depende de la delimitación del sistema que hagamos como observadores). Visto como unidad, un sistema ecológico en semejante estado de equilibrio dinámico parecería estar diseñado para cumplir la función de regularse a sí mismo, pero en vez de una explicación teleológica en términos de un diseñador externo, podemos ver aquí un proceso de autoorganización espontánea —a modo de una “mano invisible” adamsmithiana— que alcanza naturalmente un punto de equilibrio. Aunque tengamos poblaciones de organismos que actúan cada una

buscando su propia autoproducción y reproducción, en su interacción (no lineal) surge una dinámica irreductible, en un nivel superior, que las articula como un sistema coherente. Nótese que no se postula la acción consciente de un “depredador prudente” que se propone mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad del sistema: en el modelo Lotka-Volterra, es la fluctuación en la población de las presas la que, a su vez, regula la cantidad de depredadores que pueden existir.

A largo plazo, la selección natural operará eliminando a aquellos heterótrofos que consumen más de lo que las poblaciones autótrofas pueden producir. En caso de que consigan emigrar de un ecosistema a otro alimentándose y destruyendo sucesivamente poblaciones distintas, el problema simplemente cambia de escala y posterga el lapso temporal en el que se repite la misma dinámica: si unos depredadores se vuelven “tan exitosos” que logran acabar con las poblaciones de todos los ecosistemas a los que tienen acceso, al hacerlo están firmando su propia condena de muerte. Los depredadores que lograrán sobrevivir por tiempos evolutivos más largos serán aquellos que, por una u otra razón, no logren llegar a una situación de colapso malthusiano. Esto no implica necesariamente pensar en depredadores prudentes o previsores (que conscientemente evitan rebasar la biocapacidad de sus ecosistemas), puede haber elementos ambientales que impidan que ellos acaben con la totalidad de las presas, o puede ser que la coevolución de presa y depredador —la famosa “carrera armamentista” entre chitas y gacelas o entre herbívoros y plantas espinosas— asegure la continuidad del sistema ecológico. Aquellos *clusters* o unidades ecológico-evolutivas que de alguna manera se (auto)regulen para evitar el colapso serán los “ganadores” para la selección natural en este nivel. Los mecanismos de (auto)regulación ecosistémica son también resultado de la evolución por selección natural.

Se trata de una situación en cierto modo análoga a la que puede darse en la relación entre huéspedes y parásitos. El desarrollo de algunos parásitos es tal que conduce a la destrucción de sus huéspedes, por lo que la única manera que tienen de seguir existiendo es invadiendo continuamente nuevos huéspedes. Si una población de parásitos de este tipo es lo suficientemente “exitosa” para invadir a

todos los huéspedes existentes, su éxito como invasores conducirá a su propia extinción. Otros parásitos evolucionan para ser una carga llevadera para sus huéspedes, permitiendo la continuidad de la existencia de aquellos organismos de los que dependen. Y aún otros evolucionarán para colaborar con sus huéspedes, favoreciendo la continuidad de la vida de ambos como un equipo simbiótico: entre la diversidad de organismos pueden surgir mil formas de colaboración inesperada. Muchas relaciones de interdependencia simbiótica evolucionaron a partir de relaciones parasitarias o de depredación (veremos un par de ejemplos más abajo).

2.3.8. Integración simbiótica y selección multinivel

Aunque hace sólo unas cuantas décadas causaba escándalo, hoy en día se acepta que la cooperación simbiótica es una fuerza evolutiva tan fundamental como la competencia egoísta: la teoría de la simbiogénesis —propuesta originalmente por Ivan Wallin y desarrollada posteriormente por Lynn Margulis— describe la manera en que la simbiosis de dos o más organismos distintos puede dar lugar a un nuevo organismo: una unidad viviente que corresponde a un nivel de organización superior.

En la actualidad, la mayoría de los protocistas, y todas las plantas, animales y hongos tienen mitocondrias en el interior de sus células, orgánulos⁵² encargados de la respiración a nivel celular. Como ya vimos, la respiración tiene una importancia crucial para incrementar el aprovechamiento de energía en los procesos metabólicos: sin las mitocondrias, la evolución de todos los organismos de gran tamaño habría sido imposible. Hoy en día ha quedado ya fuera de duda que las mitocondrias fueron originalmente bacterias independientes, parásitos que infectaban bacterias más grandes encontrando alimento y protección en el interior de las bacterias huésped. Las bacterias invadidas eran fermentadoras que no toleraban el oxígeno, en cambio, las protomitocondrias invasoras no sólo lo

⁵² Así como en nuestros cuerpos tenemos órganos encargados de ciertas tareas específicas, en el interior de las células hay “orgánulos” subunidades intracelulares con funciones específicas al interior de las células eucariotas.

toleraban sino que habían evolucionado para aprovecharlo: eran bacterias purpúreas respiradoras de oxígeno. En un mundo cambiante, con cada vez más oxígeno atmosférico, la relación de parasitismo destructivo entre estas dos bacterias evolucionó para convertirse en una colaboración simbiótica en la que, a cambio de alimento y un ambiente benigno, las protomitocondrias ayudaron a la célula huésped a, no sólo tolerar, sino obtener más energía a partir del venenoso gas. De este modo, formaron una asociación tan exitosa que se ha mantenido a lo largo de millones de años, dando lugar a todo un mundo de seres vivos. Las mitocondrias todavía poseen su propio ADN y se reproducen de manera independiente pero sincronizada (con una tasa ligeramente diferente que la de las células huéspedes), sin embargo, el parasitismo se ha hecho permanente: ninguno de los socios sobreviviría a la separación. (Margulis y Sagan 2009:107)

Algo semejante parece haber sucedido en la historia de las algas y plantas verdes. Microorganismos nadadores que ya contaban con núcleo y mitocondrias plenamente integradas se alimentaban de bacterias verdes fotosintetizadoras, sin embargo, algunas de estas bacterias “presa” se hicieron más resistentes y consiguieron mantenerse vivas dentro de los protistas depredadores. Dado que estos depredadores —que ahora padecían una especie de indigestión— eran transparentes, las bacterias fotoautótrofas consiguieron seguir produciendo comida desde su interior, lo cual resultó ventajoso también para el indigesto huésped. A cambio, el depredador —con capacidad de movimiento— desarrolló una predilección por las aguas iluminadas, en donde sus pasajeras autótrofas podían producir más eficientemente el suministro de alimento que ahora sostenía al equipo. Sería como si un horticultor —o más exactamente un “invernadero viviente”— llevara en remolque a sus plantas a los lugares en donde encuentran la humedad e iluminación necesaria para proveerle de alimento. En otro fascinante caso de endosimbiosis, las bacterias verdes se convirtieron en los cloroplastos (orgánulos especializados en realizar la fotosíntesis al interior de las células vegetales) y los protistas nadadores se convirtieron en las primeras algas.

Es fácil ver que, en este tipo de situaciones, todos los involucrados obtienen “ventajas competitivas” al asociarse, formando una unidad integrada de orden

superior que puede proliferar en ambientes y circunstancias en las que los integrantes aislados no pueden hacerlo. Como señala García Leal, la evolución de la cooperación no es tan problemática como pensaban los darwinistas ortodoxos:

Muchos organismos forman grupos cooperativos simplemente porque obtienen ventajas de ello. [...] es más fácil que la cooperación evolucione cuando los cooperantes no son de la misma especie, porque entre individuos de distintas especies no hay competencia por el éxito reproductivo diferencial. Como ha señalado Peter Corning, a menudo la cooperación beneficia a todas las partes implicadas por las sinergias que conlleva. La cooperación es algo que surge de manera espontánea en muchas situaciones y es premiada por la selección natural, incluso entre miembros de la misma especie. No es difícil ver que el “hoy por ti, mañana por mí” tendrá recompensa, por ejemplo, en situaciones de elevada incertidumbre en la disponibilidad de alimento. (García Leal 2013:173)

Peter Corning —biólogo y teórico de la complejidad— sostiene que la simbiosis, el altruismo recíproco y la selección de grupo constituyen expresiones de un principio mucho más general que forma parte fundamental de la evolución biológica desde el origen mismo de la vida. En su libro *Holistic Darwinism* (2005), critica el énfasis exagerado de los neodarwinistas en la competencia de “todos contra todos” y reivindica un enfoque holístico para afirmar que las asociaciones entre moléculas, células y organismos para integrar unidades en niveles de integración progresivamente superiores expresan una tendencia evolutiva general. Este proceso de articulación holárquica constituye una fuente de creatividad de la que surgen continuamente nuevas formas adaptativas. El modelo de evolución por medio de la selección natural puede explicar la proliferación y persistencia de estas unidades integradas: en algunos casos, adquiriendo cualidades que no son accesibles para sus subunidades separadas, las unidades integradas sobrevivirán y mantendrán su continuidad reproductiva ahí donde los elementos aislados no pueden hacerlo. Al mismo tiempo, esto significa que habrá una pérdida de autonomía para las partes asociadas: cuando subunidades especializadas en distintas tareas se articulan sinérgicamente en sistemas mayores con división del

trabajo, sólo podrán seguir habitando el nicho ecológico que en conjunto les es accesible formando parte de dicho conjunto, ateniéndose a las reglas que sostienen el funcionamiento del sistema del cual ahora dependen. (García Leal 2013:164)

A diferencia del rechazo dogmático en generaciones anteriores, actualmente, la idea de que la selección natural actúa a múltiples niveles simultáneamente —y no sólo en un nivel fundamental, sea el de los organismos individuales o el de los “genes egoístas”— cuenta cada vez con más aceptación entre los biólogos (García Leal 2013:131). La discusión sobre cuál es la unidad de selección fundamental ya no parece conducir a nada: ningún nivel de integración parece ser más fundamental que los demás, cada uno tiene características irreductibles que no pueden simplemente derivarse de lo que ocurre en los niveles adyacentes (o del “nivel último” inferior, pues no parece haber un “suelo sólido” al cual aferrarnos). Esta es una de las premisas básicas de las ciencias de la complejidad: renunciar al ideal de reducir la complejidad multidimensional del mundo a un único nivel elemental.

No es tan difícil visualizar la selección natural operando simultáneamente en dos niveles: subunidades serán seleccionadas de tal modo que persistirán aquellas que funcionen⁵³ mejor para mantener continuidad del sistema del que forman parte (dado que su propia subsistencia depende de la subsistencia del sistema mayor); a su vez, los sistemas mayores serán seleccionados en función del grado de coherencia funcional⁵⁴ lograda entre sus subunidades. De entre la variedad de subunidades que el impulso hacia la diversificación generará constantemente, la selección natural no podrá sino conservar aquellas que

⁵³ Cuando podemos identificar este tipo de relaciones que son necesarias para el sostenimiento de un sistema mayor, podemos describir su participación en dicho sistema en términos de función: si x no participa en el sistema de determinada forma, el sistema puede colapsar.

⁵⁴ Un sistema con baja coherencia interna sería uno cuyas subunidades no actúan coordinadamente para cumplir la función de mantener la continuidad del sistema. En comparación, diremos que un sistema tiene alta coherencia interna cuando veamos que el comportamiento de sus subunidades es tal que en conjunto consiguen cumplir dicha función.

funcionan al mismo tiempo en ambos niveles: descartará todas las variedades que son inviables por razones que pueden situarse en cualquiera de los niveles relevantes. Al mismo tiempo que las subunidades son seleccionadas de acuerdo con su desempeño en el “ambiente interior” del sistema mayor, el sistema existe a su vez dentro de un ambiente exterior en el que enfrenta cambios imprevistos, fluctuaciones en las fuentes de energía o en la disponibilidad de materiales, la amenaza de posibles invasiones de intrusos, accidentes y contingencias, a todo lo cual corresponderán determinados cambios internos (otra instancia de acoplamiento estructural, en términos de Maturana y Varela).

Competencia individualista y cooperación pueden coexistir actuando simultáneamente en niveles de integración distintos. Además de quedarse con aquellos sistemas cuya dinámica interna muestra mayor coherencia funcional en cada momento presente, la selección natural favorecerá a los sistemas con mayor resiliencia a lo largo del tiempo: mayor capacidad de soportar fluctuaciones y perturbaciones sin que se interrumpan las relaciones fundamentales (en términos de organización) y los flujos metabólicos (energía y materiales) que mantienen al sistema operando como tal. La capacidad de resiliencia de un sistema frente a los cambios ambientales depende también de lo que ocurre en ambos niveles: tanto de las dinámicas irreductibles que surgen de la interacción de las subunidades del sistema, como del desempeño particular de cada subunidad como parte del sistema. Acoplamiento estructural y selección natural son dos caras de la misma moneda —la interacción evolutiva entre sistema y ambiente—, y conforme se tejen relaciones de interdependencia entre los cabos sueltos de un ecosistema, aumentan los niveles de integración que podemos considerar. La selección natural y el acoplamiento estructural operarán en todos los niveles en los que se ponga en juego la subsistencia o desaparición de entidades biológicas, la continuidad de la vida o su interrupción.

Tanto las relaciones de dependencia como las relaciones de interdependencia forman *clusters* de organismos que sostienen sus vidas como unidades más o menos integradas. Dado que la sobrevivencia de unas poblaciones depende de la sobrevivencia de otras, la extinción de una de ellas también puede acarrear la

extinción de la otra. En conjunto forman una “unidad selectiva” (una unidad sujeta los efectos de la selección natural). Cuando una especie bien adaptada está ocupando un nicho, es difícil (aunque no imposible) que un “recién llegado” pueda ganarle y desplazarla, esto significa que, en condiciones ambientales relativamente estables, una especie bien adaptada tendrá un efecto conservador sobre el proceso evolutivo bloqueando o dificultando el desarrollo de innovaciones. En cambio, cada vez que una especie desaparece (sea arrasada por la aparición de un nuevo parásito o depredador, o por cambios ambientales que le hacen incapaz de sobrevivir), su nicho persiste y queda desocupado, por lo que una nueva especie puede evolucionar (o migrar) para ocuparlo: las extinciones abren espacio para que la creatividad evolutiva se explaye nuevamente. De esta manera, la diversidad de especies en un ecosistema puede mantenerse relativamente estable o “en equilibrio”, lo que Schneider y Sagan describen como un fenómeno de “puerta giratoria” en la que una especie sale y otra entra para ocupar su lugar (Schneider y Sagan 2008:244). Lo mismo ocurre con *clusters* de organismos: si un conjunto de tres especies interdependientes colapsa o desaparece luego de un cambio ambiental, desocupa tres nichos para que nuevas especies —que pueden o no estar agregadas en *clusters*— los ocupen. En este sentido, podemos pensar que la “competencia” no sólo se da entre especies o *clusters* de especies que existen en un mismo momento y compiten frente a nuestros ojos, sino también a lo largo del tiempo evolutivo, pues mientras una especie (o clúster) ocupe la energía y materiales disponibles, bloquea la aparición de nuevas especies.

En este sentido, considerando el tiempo largo evolutivo, las especies (o *clusters*) “más aptas” para la supervivencia, mejor adaptadas a un ambiente y sus fluctuaciones (más resilientes) serán las que logren permanecer estables durante más tiempo. Esto no implica que permanezcan completamente estáticas —aunque algunas especies y *clusters* literalmente parecieran congelarse en el tiempo por largos periodos—, podrán seguir evolucionando de diferentes maneras pero sin que se produzcan las interrupciones y discontinuidades propias de una extinción.

Los paleontólogos se refieren a los grupos de especies que permanecen sin cambios durante millones de años en virtud de la fuerza estabilizadora de la asociación como unidades ecológico-evolutivas. La interdependencia ecológica y la coevolución de nichos y mutualismos pueden proporcionar una fuerza estabilizadora que independice a estas unidades de las fluctuaciones más o menos esperables del entorno. La interdependencia ecológica de las especies determinaría la persistencia a largo plazo de comunidades enteras, en lo que se ha descrito como “ensamblaje ecológico”. La contrapartida es que, a partir de cierto umbral de cambio ambiental, la comunidad entera puede venirse abajo debido a la estrecha interdependencia de sus miembros. (García Leal 2013:189)

Distintos *clusters* tendrán diferente capacidad de estabilizarse y enfrentar variabilidad del ambiente (resiliencia). Desde esta perspectiva podemos hablar de un éxito diferencial no sólo sincrónico sino entre ocupantes sucesivos, comparando el tiempo que unos y otros lograron estabilizarse en dicho ambiente. El éxito reproductivo no sólo debería medirse en términos de multiplicación de individuos y crecimiento de poblaciones sino de su estabilidad en el tiempo, de su capacidad de mantener la continuidad reproductiva por periodos más largos, evitando o superando las crisis que podrían ocasionar una ruptura de dicha continuidad. Desde esta perspectiva, los “más aptos” serán los *clusters* (no individuos) que logren sobrevivir (en integración holárquica) durante más tiempo.

Un ejemplo interesante son los llamados “tapetes microbianos”. Formados por millones de organismos microscópicos estrechamente acoplados, reciben ese nombre porque en conjunto forman estructuras macroscópicas que se extienden por la superficie del suelo. Hace algunos miles de millones de años, el paisaje terrestre estaba coloreado por este tipo de estructuras. Hoy en día, sobreviven todavía algunos de ellos, en lugares demasiado calientes, fríos, ventosos o salados para las formas de vida pluricelulares que los desplazaron de otras partes. Se trata de verdaderos ecosistemas en miniatura:

Formas bacterianas variadas organizadas en capas proliferan en los tapetes que ellas mismas producen. Las cianobacterias fotófilas, que ocupan las capas superiores, transforman de modo sutil y continuo carbono, nitrógeno, azufre y fósforo, y suministran estos elementos a las bacterias que están debajo. [...] Entre los fotosintetizadores, las formas más resistentes a la insolación y la desecación habitan en las capas superiores de los tapetes microbianos; los que explotan el sulfuro se sitúan en las capas inferiores. Las bacterias purpúreas navegan por los estratos intermedios, equilibrando la obtención del sulfuro de las capas inferiores con el aprovechamiento de la luz solar que se filtra por las capas superiores. (Margulis y Sagan 2009:86)

Este tipo de articulaciones microbianas pudieron, a su vez, ser tan importantes para el funcionamiento de la biósfera en aquellos tiempos, como los pulmones y el hígado lo son para nosotros (Margulis y Sagan 2009:88). Y si estos tapetes son como los órganos, las bacterias en el agua, el suelo y el aire serían como las células de un ente global (Margulis y Sagan 2009:76). Decir que la Tierra es un pedazo de roca de tamaño planetario habitado por formas vivas es casi como decir que nuestro cuerpo es un esqueleto infestado de células (Margulis y Sagan 2009:28). El aire podría considerarse similar al pelo de un gato o a un nido de avispones: algo no vivo pero hecho por seres vivos para mantener las condiciones apropiadas para la continuidad de la vida (Lovelock 1995:85). Como dice James Lovelock:

Considerad la teoría Gaia como una alternativa a la creencia convencional que ve la Tierra como un planeta muerto, hecho de rocas inanimadas, océanos y atmósfera, meramente habitado por vida. Consideradlo como un sistema real incluyendo toda su vida y todo su entorno, íntimamente acoplados para formar una entidad autorreguladora. (citado en Capra 1996:120)

2.3.9. Ecosistema global

En *Elements of Physical Biology*, décadas antes de los descubrimientos de Lovelock, el propio Lotka señaló que el proceso evolutivo conduciría hacia el ensamblaje de un sistema ecológico global. Sin tener a la mano el concepto de “sistema disipativo” que Prigogine elaboraría hacia finales del siglo XX, Lotka hablaba de “transformadores de energía” (*energy transformers*) para referirse a los seres vivos, los cuales se ensamblarían progresivamente para formar unidades más grandes (*composite transformers, aggregates of composite transformers, systems of transformers, etc*) hasta llegar al nivel de un sistema global (*one great world-wide transformer, the World Engine*). (Lotka 1925:330-335)⁵⁵

The picture we must keep before us, then is that of the great world engine or energy transformer composed of a multitude of subsidiary units, each separately and all together as a whole, working in a cycle. (Lotka 1925:335)

Es en referencia al ecosistema global que Lotka se preguntó por la direccionalidad de la evolución biológica:

This is the conception we must form of organic evolution: the evolution of the great world engine as a whole, not merely that of any single species of organisms considered separately. What is the trend of this development? Toward what end does *the great transformer* shape and reshape itself? A provisional answer to the question will be suggested (Lotka 1925:335)

⁵⁵ Otros fragmentos de Lotka (1925): The several individual organisms of one species form in the aggregate one large transformer built up of many units functioning in parallel (330). We may form the conception of a system of transformers comprising, in the most general case, individual single transformers, aggregates of composite transformers, and coupled transformers; some or all of which may partake in greater or less degree of the nature of accumulators. It is precisely such a system of transformers that is presented to us, on a vast scale, in nature, by the earth with its population of living organisms (329). And lastly, the body of all these species of organisms together with certain inorganic structures, constitute one great world-wide transformer. It is well to accustom the mind to think of this as one vast unit (331). The World Engine. The great world engine –in which each of us is a most insignificant little wheel.. has its energy source, its firebox, so to speak, in the sun (331).

Como ya vimos, la respuesta sugerida fue el célebre y mal entendido principio de Lotka, que en realidad describe el modo en que los ecosistemas —incluyendo al ecosistema global— se diversifican y articulan, crecen hasta donde los factores limitantes lo permiten y se estabilizan en torno a los niveles máximos de aprovechamiento de la energía disponible (definidos en función del cumplimiento de las necesidades biológicas, y no de una maximización de la disipación). Así, Lotka postulaba que el proceso de la evolución biológica conduciría a la autoorganización de la biósfera como un gran sistema disipativo que tendería a instalarse en estados metaestables o de cuasiequilibrio (alejados del equilibrio termodinámico, sostenidos por un input constante de energía proveniente del Sol).

Resulta interesante notar que los postulados de Lotka y sus modelos de equilibrio metaestable, siendo deducciones teóricas, coincidieron con los modelos matemáticos de Lovelock, formulados para dar cuenta de lo que sus sorprendentes observaciones empíricas le revelaban. Sagan y Schneider también coinciden en ver aquí una tendencia evolutiva general:

de cualquier biosfera extraterrestre también cabría esperar que fuera un mundo de no equilibrio (atmósferas metaestables fuera del equilibrio termodinámico) que manifestase reciclado y desarrollo, así como la tendencia a un incremento de la biodiversidad y de la eficiencia metabólica. (Schneider y Sagan 2008:236)

Las observaciones preliminares de Lovelock impulsaron el surgimiento de una nueva disciplina científica que hoy se conoce como ecología global. Diversos estudios han confirmado y aportado nuevas evidencias —utilizando los cada vez más sofisticados sistemas de percepción remota y monitoreo satelital del clima— respaldando las proposiciones centrales de la hipótesis Gaia, a saber: que diversos parámetros (temperatura, composición atmosférica, salinidad de los océanos, etc.) que son cruciales para el sostenimiento de la biosfera son activamente controlados por mecanismos de retroalimentación que operan a escala global, los cuales son sostenidos por la actividad de los propios seres vivos.

Paradójicamente, quienes se han quejado agriamente de la “excesiva personalización” que implica tomar a esta comunidad global como una entidad viva, en general se encuentran bastante cómodos hablando de los “genes egoístas” como si poseyeran las cualidades propias de un sujeto: en la búsqueda de su propia supervivencia, se habla de los genes como si exhibieran alguna forma de agencia, intencionalidad, una inteligencia maquiavélica y hasta un egoísmo sin escrúpulos sin que nadie haga gran escándalo. En general, quienes se quejan del optimismo dulzón que impregna la proposición de que hay una “gran entidad” que de alguna manera “busca” mantener las condiciones que son propicias para la continuidad de la vida (entendida como una red de interdependencias), no suelen ser conscientes del sesgo que imprime el amargo pesimismo de pensar que no hay nada más que competencia egoísta por la supervivencia individual, incluso si esto conduce a la (auto)destrucción colectiva. Quienes quieren ver la separación como algo más fundamental que la interconexión, necesitan aferrarse a algún nivel particular como si fuera el nivel fundamental, pues al cambiar de nivel, lo que parecían ser individuos separados en competencia se integran en unidades de interdependencia.

Desde la perspectiva del sistema ecológico global, tenemos justificación para decir que aquellas propiedades (aquellas propiedades de sus componentes particulares o de las dinámicas y relaciones que existen entre ellos) que permiten que el sistema siga existiendo como tal “tienen una función”. Cuando Lovelock dice que “los mecanismos de autorregulación descritos por la hipótesis Gaia sirven *para* mantener ciertas variables dentro de los márgenes necesarios para la continuidad de la vida” está utilizando una explicación finalista en términos de función (haciendo referencia a un sistema en particular). Lo anterior no implica necesariamente hacer referencia a un sujeto intencional que se proponga conscientemente el cumplimiento de una meta o propósito. Quienes rechazan la hipótesis Gaia por creer que aceptarla implica necesariamente atribuir una intencionalidad consciente a un gigantesco organismo imaginario —personificado con el nombre de una divinidad griega— es porque, en su dogmático rechazo de toda explicación teleológica, no han atinado a distinguir las explicaciones finalistas

en términos de función (que refieren a un sistema) de aquellas hechas en términos de propósito (que refieren a un sujeto). Podemos quedarnos solamente con las explicaciones en términos de función, para las cuales ya tenemos abundante evidencia empírica. No es necesario invocar la intencionalidad “benevolente” de ninguna entidad sobrenatural para entender la evolución de los mecanismos de autorregulación descritos por la hipótesis Gaia.

La teoría Gaia describe a la biosfera no solamente como un sistema que se autorregula (homeostasis) sino que afirma que los parámetros dentro de los cuales el sistema se mantiene a sí mismo son los parámetros *más adecuados para la prosperidad de la vida*: “homeostasis *por y para* la vida”. Esta afirmación, que ha sido ridiculizada como un delirio teleológico que apela a una intencionalidad benévola cuasidivina, también puede explicarse desde la perspectiva de una ecología energética-evolutiva. Como dicen Margulis y Sagan:

La «intencionalidad» del auto-mantenimiento gaiano deriva del comportamiento de miríadas de organismos, principalmente microbios [...] La fisiología planetaria, lejos de haber sido producida *ex nihilo*, o por un Dios exterior, es el resultado holárquico⁵⁶ de la acción de seres vivos ordinarios. Es la autopoiesis celular a gran escala. (Margulis y Sagan 2009:47)

Por otro lado, es falso que la hipótesis Gaia contradiga los fundamentos de la teoría de la evolución y que, por lo tanto, implique necesariamente postular una intencionalidad consciente detrás del “diseño” de los mecanismos de autorregulación planetaria. Desde la visión ortodoxa centrada en las “unidades mínimas”, en donde la evolución por selección natural parece nada más que competencia egoísta, la existencia de auténtica cooperación pareciera ir en contra de la teoría darwinista, por lo que parece imposible considerar la evolución de un sistema coherente y funcional —en el que las partes cooperan para lograr ciertos

⁵⁶ Arthur Koestler acuñó el término “holarquía” para la coexistencia de seres menores en conjuntos mayores. Sus componentes —llamados “holones”— no son simples partes sino totalidades que funcionan también como partes. (Margulis y Sagan 2009:17-18)

fines— de escala global. Como ya expuse, si bien el modelo básico de evolución por selección natural tiene la competencia como un elemento básico, esto no excluye la existencia de cooperación. Desde una perspectiva multinivel, se puede ver cooperación y competencia operando simultáneamente (en distinto nivel de integración). La creatividad evolutiva de la vida en su permanente búsqueda de energía y materiales para continuar existiendo conduce hacia la diversificación y articulación de los seres tejiendo redes de interdependencia, integrando *clusters* de organismos cuya supervivencia depende de la subsistencia del conjunto formando sistemas progresivamente más abarcadores, multiplicando los niveles en los que opera la selección natural. Por selección natural, aquellos elementos cuyo desarrollo conduzca a la desestabilización o el colapso del sistema del cual dependen serán eliminados, a veces llevándose a todo un *cluster* de organismos con ellos. Por muy “exitoso” que pueda parecer un organismo en términos de éxito reproductivo individual a corto plazo, si su desarrollo conduce a la destrucción del sistema mayor del cual depende, tarde o temprano su propio “éxito” egoísta conducirá a su propia destrucción, dejando desocupado su nicho (y el de todas las otras especies que haya arrastrado consigo) para que nuevos *clusters* de organismos hagan otro intento por aprovecharlos. Los elementos que logren integrarse de manera funcional cooperando para el mantenimiento del sistema mayor del cual dependen, podrán estabilizarse y mantener la continuidad de su existencia por periodos más largos. A largo plazo, los organismos más aptos para la supervivencia son los que logran integrarse funcionalmente y cooperar para el sostenimiento de la red de interdependencias de la cual forman parte. Superando el ideal atomista-reduccionista de la modernidad clásica, es posible adoptar una perspectiva holística —un “darwinismo holístico”, como dice Corning— para ver que la integración de unidades funcionales de nivel superior es una tendencia evolutiva general (siempre y cuando haya el suministro energético necesario).

De acuerdo con Fritjof Capra, de todas las teorías y modelos de autoorganización en biología, la hipótesis Gaia ha sido, con mucho, la que encontró una mayor oposición. La imagen de Gaia como un ser sintiente e

intencional fue el principal elemento implícito detrás de su rechazo. Como explica el mismo autor:

Los representantes de la biología mecanicista atacaron la hipótesis Gaia como teleológica porque no podían imaginar cómo la vida sobre la Tierra podía ser capaz de crear y regular las condiciones para su propia existencia sin hacerlo de un modo consciente y determinado. “¿Hay reuniones de comités en los que las especies negocian la temperatura del año siguiente?” preguntaban con malicioso humor.

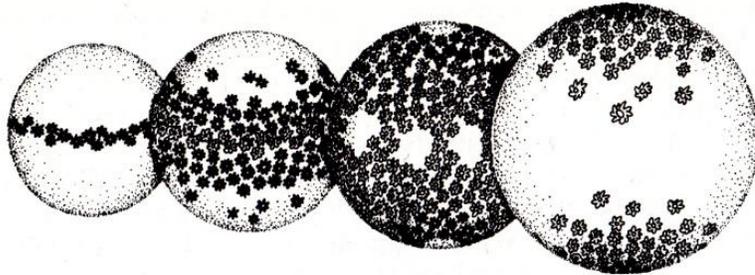
Lovelock respondió con un [inocente] modelo matemático llamado “El Mundo de las Margaritas” [*Daisyworld*]. Este modelo representa un sistema Gaia enormemente simplificado, en el que queda totalmente claro que la regulación de la temperatura es una propiedad emergente del sistema que se manifiesta automáticamente, sin ninguna acción determinada, como consecuencia de los bucles de retroalimentación entre los organismos del planeta y su entorno.

El mundo de las Margaritas es un modelo informático de un planeta, calentado por un sol con radiación térmica constantemente creciente y poblado únicamente por dos especies: margaritas negras y margaritas blancas. Se reparten semillas de ambas por el planeta, que tiene humedad y fertilidad uniformes, si bien las margaritas sólo crecerán dentro de una determinada gama de temperaturas.

Lovelock programó su ordenador con las ecuaciones matemáticas correspondientes a estas tres condiciones, escogió un planeta en el punto de congelación como situación inicial y puso el ordenador a trabajar sobre el modelo. “Conducirá la evolución del ecosistema del Mundo de las Margaritas a la autorregulación de su clima?”, era la cuestión crucial que se preguntaba.

El resultado fue espectacular. A medida que el planeta modelo se calienta, en un momento determinado el ecuador alcanza la temperatura adecuada para la vida de la planta. Las margaritas negras aparecen primero, ya que absorben mejor el calor que las blancas y están por tanto mejor dotadas para la

supervivencia y la reproducción. Así, en su primera fase de evolución, el planeta muestra un anillo de margaritas negras sobre el ecuador.



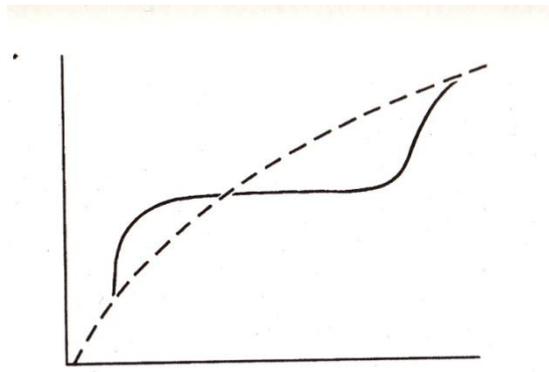
Las cuatro fases evolutivas del Mundo de las Margaritas

A medida que el planeta se calienta, el ecuador se vuelve demasiado cálido para las margaritas negras, que empiezan a colonizar las zonas subtropicales. Al mismo tiempo, las margaritas blancas aparecen sobre el ecuador. Debido a su color, las margaritas blancas reflejan el calor y se enfrían, lo que les permite sobrevivir en zonas demasiado calurosas para sus hermanas negras. Así pues, en la segunda fase hay un anillo de margaritas blancas sobre el ecuador, mientras que las zonas subtropicales templadas se llenan de margaritas negras y en los polos, donde hace aún demasiado frío, no aparecen todavía margaritas.

El sol sigue aumentando su radiación y las plantas se extinguen en el ecuador, donde hace ahora demasiado calor incluso para las margaritas blancas. Mientras tanto, las margaritas negras han ido siendo reemplazadas por blancas en las zonas templadas y en los polos comienzan a aparecer margaritas negras. Así, la tercera fase muestra un planeta con el ecuador despoblado, las zonas templadas pobladas por margaritas blancas, las zonas alrededor de los polos por margaritas negras y los casquetes polares sin plantas. En la cuarta fase, vastas regiones alrededor del ecuador y de las zonas subtropicales son ya demasiado calurosas para ambas clases de margaritas, mientras que vemos margaritas blancas en las zonas templadas y

negras en los polos. Finalmente, todo el planeta es ya demasiado caluroso para las margaritas y la vida se extingue.

Esta es la dinámica básica del sistema del Mundo de las Margaritas. La propiedad crucial del modelo que produce la autorregulación es que las margaritas negras, al absorber calor, no sólo se calientan a sí mismas sino también al planeta. De forma parecida, mientras las margaritas blancas reflejan el calor y se refrescan a sí mismas, refrescan también al planeta. Así, el calor es absorbido y reflejado a través de la evolución del modelo, dependiendo de qué especie de margarita esté presente. Cuando Lovelock trazó las gráficas de los cambios de temperatura del planeta a través de su evolución, se encontró con el sorprendente resultado de que la temperatura planetaria se mantenía constante a lo largo de las cuatro fases.



Evolución de la temperatura en el Mundo de las Margaritas: la línea punteada representa el planeta en ausencia de vida, la línea continua muestra cómo la vida mantiene la temperatura constante

Cuando el sol es relativamente frío, el modelo incrementa su propia temperatura mediante la absorción de calor a cargo de las margaritas negras. A medida que el sol aumenta su radiación, [el modelo se enfría] gradualmente a causa del progresivo predominio de las margaritas blancas que reflejan el calor. Así, el Mundo de las Margaritas, sin ningún plan preconcebido ni previsión alguna, “regula su temperatura durante un largo periodo de tiempo, gracias al baile de las margaritas”.

Los bucles de retroalimentación que ligan las influencias medioambientales con el crecimiento de las margaritas, que a su vez afecta al entorno, son [la propiedad fundamental] del modelo. Cuando este [vínculo] se rompe, de modo que no hay influencia de las margaritas sobre el entorno, su población fluctúa arbitrariamente y todo el sistema se vuelve caótico. Tan pronto como los bucles se cierran mediante el restablecimiento del vínculo entre las margaritas y el entorno, el modelo se estabiliza y se reanuda la autorregulación.

Desde entonces, Lovelock ha diseñado versiones mucho más sofisticadas del Mundo de las Margaritas en las que, en lugar de dos únicas especies, hay muchas clases de margaritas con pigmentos variables. Hay modelos en los que las margaritas evolucionan y cambian de color, modelos con conejos que se comen las margaritas y zorros que se comen a los conejos etc. El resultado final de estos modelos altamente complejos, es que se atenúan las pequeñas fluctuaciones térmicas que aparecían en el modelo original y que la autorregulación se hace más y más estable a medida que aumenta la complejidad del sistema. Lovelock introdujo además en sus modelos catástrofes que destruyen periódicamente un 30% de las margaritas y descubrió que la autorregulación del modelo se muestra notablemente resistente ante estas severas perturbaciones. (Capra 1996: 125-127)

El modelo del mundo de las margaritas es, evidentemente, una simplificación enorme, tal y como lo es el modelo Lotka-Volterra sobre el equilibrio *interspecies* en la interacción presa-depredador. Algunos críticos han señalado que se trata de una simulación trucada, que el equilibrio final alcanzado se sustenta en parámetros escogidos para asegurar la estabilidad del sistema (García Leal 2013:178). Incluso si se necesitara un “milagro probabilístico” para que se presenten las condiciones adecuadas y aparezcan patrones de equilibrio dinámico por autoorganización, los mismos biólogos teóricos aceptan sin problemas la eventual ocurrencia de milagros probabilísticos semejantes cuando se trata de las mutaciones genéticas y la aparición de características fenotípicas ventajosas. La selección natural se encargaría, precisamente, de hacer que esos “golpes de suerte” se multipliquen y persistan. Lo que ambos modelos muestran es lo que

puede suceder, espontáneamente, en ciertas condiciones, cuando se presentan relaciones no lineales (sea entre las poblaciones de presa y depredador o entre la proliferación de margaritas y la temperatura).

Lovelock quiso describir esta tendencia hacia la metaestabilidad haciendo la analogía con la homeostasis en el metabolismo de un organismo. Como ya vimos, existen ciertos patrones isomórficos entre el crecimiento de un organismo y el de un ecosistema, en el modo en que mantiene ciertas variables dentro de ciertos límites (homeostasis), en la forma en que enfrentan situaciones de estrés y se recuperan de la “fiebre”, etc. Sin embargo, en vez de buscar la analogía con un organismo individual, resulta más conveniente pensar en términos de un ecosistema global o *Earth System*.

La afirmación de que la Tierra entera es como un gigantesco organismo no es nueva en la historia de la filosofía natural, sin embargo, no era más que una visión poética sin fundamento científico hasta que la formulación de Lovelock permitió discutirla desde un punto de vista diferente. Evidentemente, la Tierra no tiene un código genético, no se reproduce (no genera “planetas hijos”) ni compete contra otros planetas por la sobrevivencia, pero esto no significa que no pueda ser vista como una “entidad viva” o que no pueda ser comprendida en el marco de la evolución por selección natural. Se trata de una cuestión que nos lleva de regreso al tipo de preguntas revisadas al inicio del capítulo: ¿qué es la vida?, ¿qué es un ser vivo?

Decir que la Tierra completa es literalmente un organismo resulta problemático, pero esto no es un problema de la teoría Gaia. La idea de “organismo” es difusa, sin límites claros, y presenta problemas en sí misma. Aunque están fuera de nuestro campo de percepción natural (sin ayuda de instrumentos), una bacteria encaja sin problemas en nuestra imagen de sentido común de “un organismo” como “un individuo vivo”, el “átomo biológico”. La cosa se vuelve un poco más extraña al observar casos como el de *Magnetoglobus multicellularis*, un tipo de forma de vida pluricelular que pertenece al reino procariota (el de las células sin núcleo): diríamos que se trata simplemente de una “agrupación de bacterias” (unas cuantas decenas de bacterias que en conjunto

forman una esfera hueca de modo que cada célula está en contacto con el ambiente externo y con la cavidad interna) de no ser porque sólo pueden reproducirse como conjunto, pasando por una etapa unicelular en su ciclo vital. Se trata de uno de los casos más sencillos de organismos pluricelulares que se conocen —es casi como si bacterias individuales simplemente se reunieran en círculo—, y precisamente por ello nos ayuda a cuestionar la idea de organismo como *individuo* para superar las restricciones de una lógica de “todo o nada”. Entre las bacterias hay muchos casos de formas de vida pluricelular, pero en su mayoría son formaciones temporales que se agrupan y desagrupan dependiendo de las condiciones ambientales. En el caso de *Magnetoglobus multicellularis*, se trata de una unidad irreductible que sólo puede existir como conjunto pluricelular: si separamos artificialmente una célula del conjunto, no sobrevivirá ni siquiera en condiciones de laboratorio. (García Leal 2013:148)

A primera vista, una célula eucariota (con núcleo) parece tan “individuo” como cualquier bacteria (célula procariota), sin embargo, al considerar que surgieron como resultado de la fusión simbiótica de dos, tres o más organismos diferentes (algunos de los cuales conservan sus propios códigos genéticos y se reproducen de manera independiente, pero sincronizada, en el interior de la célula), nuevamente vemos que lo que aparece como un “individuo” en cierto nivel, en otro aparece como “comunidad” formada por organismos de diverso tipo. La situación sigue complejizándose al considerar, ahora, comunidades formadas por este tipo de “individuos compuestos”: encontramos igualmente casos en los que las células eucariotas se agrupan y desagrupan formando y disolviendo unidades en un nivel de integración superior dependiendo de las circunstancias. Y encontramos casos en los que, al igual que *Magnetoglobus celullaris*, los organismos pluricelulares (en este caso formados por células con núcleo) sólo pueden vivir como parte de esa unidad mayor (que pasa también por una fase unicelular durante su ciclo vital): es el caso de todas las plantas y animales. Dado que éstos son el tipo de “organismos” que naturalmente podemos percibir a simple vista, nuestra noción de sentido común los incluye fácilmente como “individuos”, sin embargo, el descubrimiento de que están compuestos por células (semejantes a otras que

tienen vida independiente) y que éstas a su vez constituyen una comunidad de diversos microorganismos, nos obliga a entender la “individualidad” como un concepto relativo, cuyo referente varía dependiendo de la escala en la que busquemos aplicarlo. El hecho de que nos percibamos a nosotros mismos, animales pluricelulares, como un “individuo” deja de parecer algo obvio: en realidad, resulta bastante misterioso el hecho de que, en nuestra experiencia subjetiva cotidiana, nos percibamos como una unidad “individual” —un sujeto, un “yo”— cuando *también* somos una comunidad formada por pequeños “individuos”.

Por si fuera poco, las asociaciones simbióticas en este nivel siguen siendo abundantes. Nuestros cuerpos, formados por billones de células eucariotas, están habitados también por billones de otras células bacterianas: la totalidad de nuestra piel y tracto digestivo están poblados por una diversidad de microorganismos que no son simplemente parásitos invasores, sino compañeros simbióticos sin los cuales no podemos desarrollar nuestros procesos vitales de manera saludable. Subiendo otro nivel, tenemos incontables casos de organismos pluricelulares que sólo pueden sobrevivir formando unidades sociales, agrupaciones que en ocasiones se reproducen de manera similar a *Magnetoglobus multicellularis*: las sociedades de insectos y ratas-topo forman verdaderos “superorganismos”. De igual manera existen incontables relaciones simbióticas entre organismos pluricelulares de especies distintas, algunas de las cuales forman unidades indisolubles cuyos integrantes no pueden sobrevivir sin el compañero simbiote.

Por encontrarse en niveles por encima de lo que nuestro sentido común nos dice que son los “organismos individuales”, normalmente observamos estas unidades como “comunidades”, pero una vez que se ha roto nuestra idea de organismos como individuos aislados, pareciera que todos los individuos son, en un sentido fundamental, comunidades. Incluso las bacterias más simples (las únicas que parecerían salvar la idea del organismo como individuo) existen en realidad como una red bacteriana —intercambiando genes y mecanismos metabólicos, fusionándose y dividiéndose sin cesar— que abarca el planeta entero. Cuando decimos “comunidad” también estamos delimitando una unidad diferenciable, por más que sus límites puedan ser difusos y, hasta cierto punto,

arbitrarios. Nuestro sesgo perceptual nos juega una trampa nuevamente aquí, pues los ecosistemas son las comunidades más grandes que podemos visualizar sin ayuda de instrumentos. Sin embargo, en la actualidad, cuando nuestras visiones de la Tierra no se limitan a lo que podemos observar desde lo alto de una montaña sino que incluyen fotografías del planeta completo, podemos visualizar con mayor facilidad la manera en que todas las comunidades de organismos, anidadas unas dentro de otras y estableciendo vínculos de interdependencia desde el nivel microscópico hasta el nivel global, forman una gran entidad unificada, cuyos límites se observan con bastante claridad desde el espacio.

Intentar observar a esta enorme comunidad como un organismo individual tiene sus problemas porque la idea misma de “organismo individual” es de aplicabilidad limitada (en todos los niveles). Quizás deberíamos abandonar este esfuerzo conceptual dejando de ver al organismo individual como la entidad fundamental. Los individuos no son la unidad fundamental de la vida. No hay átomos indivisibles a los que podamos reducir la complejidad multidimensional del mundo biológico. En realidad —desde las redes autocatalíticas que dieron origen a las primeras células, hasta el ecosistema global— la vida es un fenómeno que se presenta en redes en todos los niveles. La Red de la Vida no puede reducirse a un mero conjunto de individuos. El individuo como unidad autosuficiente es una ilusión. Ningún individuo se sostiene a sí mismo en el vacío. Todo está interconectado.

2.4. El sentido de la Vida

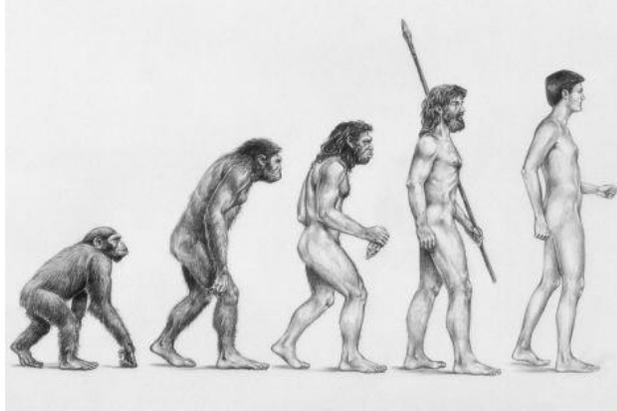
2.4.1. Redefiniendo el progreso evolutivo

Finalmente, regresamos a la discusión sobre la direccionalidad de la evolución. Hemos reunido elementos para un relato deferente de las cuatro opciones antes presentadas: una visión distinta a la del providencialismo teológico y a la del progreso antropocéntrico (como argumentaré en este apartado), una lectura distinta a las interpretaciones nihilistas y fatalistas de la evolución (como argumentaré en el siguiente apartado).

En el relato que aquí he expuesto, el progreso evolutivo no es entendido como resultado de la planeación, diseño, ni intervención de un agente exterior al mundo, como se afirma en la interpretación de la teleología teísta. Dicha interpretación reduce a la naturaleza a un mero objeto pasivo y exodeterminado relegando toda la agencia, intencionalidad y creatividad a un dominio sobrenatural. Más adelante revisaré las implicaciones filosóficas de esta visión sobre nuestra valoración de la vida y las nefastas consecuencias prácticas de un proyecto civilizatorio guiado por la misma, con lo que quedará más claro por qué considero fundamental abandonarla. La evolución de la vida es un continuo proceso de *autoorganización* y reajuste ante las cambiantes condiciones ambientales (acoplamiento estructural) que, sin embargo, sí puede entenderse y explicarse con respecto a un fin: el mantenimiento de la autopoiesis y de la continuidad de los linajes reproductivos —la continuidad de la vida— el cual, dado que requiere disipación de energía para lograrse, debe entenderse dentro del marco de la termodinámica de sistemas alejados del equilibrio.

En la interpretación aquí planteada, la evolución biológica no es un progreso lineal que avance necesaria y predeciblemente, mediante un continuo perfeccionamiento, hacia la aparición de los humanos como cúspide y culminación. La idea de que la evolución está guiada por un “principio antrópico”

—una tendencia que apunta hacia la aparición de nuestra especie como consecuencia inevitable y necesaria del progreso evolutivo— ha sido defendida por numerosos pensadores, quienes sostienen que la evolución de la vida sobre la Tierra tiene *sentido* en función de



que conduce hacia la aparición del ser humano. Como discutiré en el capítulo 3, esto constituye una herencia cultural de cosmovisiones antropocéntricas que nos han orientado por muy mal camino. Algunos biólogos consideran que esta interpretación es ya totalmente obsoleta, sin embargo, la realidad es que la interpretación del progreso antropocéntrico sigue siendo muy influyente hoy en día y de hecho se ha sido reforzada con argumentos termodinámicos mal entendidos, como muestra el siguiente extracto de *La termodinámica de la vida*:

En su reciente libro *What Evolution Is* (2001), Ernst Mayr inicia una sección sobre el progreso evolutivo con la frase: “evolución significa cambio direccional”. “Es bien legítimo —continúa Mayr— referirse a la serie de pasos de los procariotas a los eucariotas, los vertebrados, los mamíferos, los primates y el hombre como progresivos. Cada paso de esta progresión fue resultado de una selección natural exitosa. Los supervivientes de este proceso de selección se han demostrado superiores a los eliminados. El producto final de toda carrera armamentística, como se la llama, exitosa puede considerarse un ejemplo de progreso.” Mayr prosigue afirmando que el progreso produce organismos más eficientes y mejorados que los precedentes. La selección natural es la piedra angular del pensamiento darwiniano. Cuando se pone bajo la lupa de la termodinámica y se aplica la óptica de Lotka, Wicken y Ulanowicz, la selección se enmarca en los términos del flujo de energía creciente a través de bucles autocatalíticos energético-materiales. La ventaja selectiva recaerá en aquellos sistemas

autocatalíticos que incrementen el flujo de energía a través de sí mismos mejor que sus competidores. (Schneider y Sagan 2008:311)

Ya he presentado mis argumentos para decir que es equivocada la interpretación del principio de Lotka en la que se basan estos y otros autores para defender una renovada visión de la evolución como incremento progresivo de la complejidad orgánica. Como ya vimos, contra lo que sus seguidores afirman en su nombre, el propio Lotka consideraba que todos los intentos de postular una direccionalidad de la evolución como progreso de las especies individuales estaban condenados al fracaso, y que la regla del incremento progresivo de la complejidad orgánica sería, en el mejor de los casos, una regla plagada de excepciones.⁵⁷

La termodinámica de sistemas alejados del equilibrio nos permite entender que el hecho de que *puedan* evolucionar organismos más y más complejos (bajo ciertas circunstancias) no viola las leyes físicas sino que, al contrario, constituye otra forma en que la segunda ley se manifiesta. Sin embargo, afirmar que la segunda ley implica un progreso evolutivo que se dirige necesariamente hacia la aparición de organismos más y más complejos resulta una extrapolación no sólo simplista sino equivocada. Como expuse en el Capítulo 1, bajo ciertas circunstancias, ante un flujo de energía incrementado algunos sistemas disipativos pueden evolucionar hacia formas más y más complejas, pero requieren del mantenimiento de ese flujo elevado de energía y de esas condiciones particulares para estabilizarse en tales estados. El mantenimiento de la complejidad alcanzada depende de las condiciones ambientales: si no es posible mantener ese elevado

⁵⁷ Such phrases as “the passage from lower to higher forms” which are often used to describe the direction of evolution, are vague, and undoubtedly contain an anthropomorphic element. At best they give every opportunity for divergence of opinion as to what constitutes a “higher form”. If, on the other hand is stated that evolution proceeds from simpler to more complex forms, or from less specialized to more specialized forms, then the direction of evolution is but poorly defined, for the rule is at best one with many exceptions. It should be particularly noted that all these efforts to specify the direction of evolution attempt to do so in terms of a single component of the evolving system. Such definitions of the direction of evolution are foredoomed to failure. It is the system as a whole that evolves, and we can hope to establish a definition of the direction of evolution only in terms of the system as a whole. (Lotka 1925:21-22)

flujo de energía el sistema deberá poder evolucionar hacia formas más simples (capaces de persistir con menor disipación de energía) o desaparecerá.

Por otro lado, en el caso de los seres vivos, no es verdad que un organismo más complejo sea necesariamente “más apto” para la supervivencia que uno más simple. Es verdad que conjuntos de millones de células individuales —con sorprendentes mecanismos de integración y división del trabajo entre los subtipos de células que componen un organismo multicelular— adquieren la capacidad de hacer cosas que son imposibles para las células individuales aisladas; como ya expuse, los organismos multicelulares son capaces de habitar nichos ecológicos que son inaccesibles para sus elementos aislados. Sin embargo, también es cierto que, para subsistir, requieren flujos de energía y materiales mucho mayores.

Los organismos pluricelulares —especialmente los animales pluricelulares, heterótrofos— pudieron aparecer una vez que los unicelulares habían construido un ecosistema global suficientemente estable y productivo. Sin los unicelulares, los pluricelulares no podrían haber evolucionado ni podrían sobrevivir en la actualidad, pues los primeros constituyen la base fundamental del metabolismo planetario. En cambio, la biósfera bacteriana no requiere de la existencia de pluricelulares para subsistir (son accesorios), y es capaz de resistir perturbaciones y catástrofes mucho más severas. Ante crisis ecológicas locales o globales en las que la productividad biológica puede verse drásticamente reducida, los organismos más complejos estarán en desventaja: aquellos capaces de sobrevivir con menor demanda de insumos energéticos y materiales tendrán ventaja selectiva. Las poblaciones de organismos que habitan niveles tróficos superiores dependen de la estabilidad de todo el sistema que las alimenta por lo que, ante este tipo de situaciones, serán las primeras en colapsar.

Los organismos unicelulares son capaces de sobrevivir en condiciones ambientales mucho más extremas que los pluricelulares, su capacidad de innovación metabólica y de intercambio genético superan por mucho a las de estos últimos, por lo que su resiliencia ante las catástrofes es mucho mayor. En los episodios de extinciones masivas y crisis biosféricas, los organismos más complejos serán los primeros en salir de escena, los organismos más simples

serán más capaces de sobrevivir y, una vez estabilizado nuevamente el ecosistema, podrán (o no) dar lugar a un nuevo mundo de organismos pluricelulares. La importancia de los organismos unicelulares no radica únicamente en que hayan sido el origen de la vida:

Las formas de vida más abundantes en la Tierra han sido siempre los organismos unicelulares. Aparecieron hace casi 4,000 Ma [millones de años], colonizaron los continentes hace más de 2,600 Ma, y sólo comparten el planeta con los pluricelulares desde hace 600 Ma, exceptuando algunas colonias exiguas de algas formadas hace unos 1,000 Ma. Aún hoy, de los tres linajes existentes de seres vivos, dos corresponden a individuos unicelulares (*Archaeobacteria* y *bacteria*) y sólo el tercero (*Eucarya*) incluye seres multicelulares. De hecho, la característica más notable de la vida en la Tierra es la estabilidad de su modo bacteriano desde el inicio del registro fósil hasta hoy: representan la mayor parte de la biomasa, ocupan más ambientes y tienen un rango de constituciones bioquímicas más vasto que ningún otro grupo, medran fácilmente en medios con recursos limitados y preceden evolutivamente a los macrobiontes. (Anguita y Castilla 2003:206)

Cualquier recuento que presente a los organismos pluricelulares —los “más complejos”— como protagonistas de la historia de la vida en el planeta, tiene un sesgo injustificable. A todas luces, aunque nos cueste aceptarlo, los organismos “más simples” son los actores principales de esta historia. Los relatos de progreso lineal de lo simple a lo complejo no pueden considerarse como la pauta general del proceso evolutivo.

Como señala Stephen Jay Gould, en su aferramiento a las iconografías clásicas del progreso evolutivo como mejoramiento lineal de las especies, muchos paleontólogos han tomado linajes poco exitosos como casos “de libro de texto” de la evolución. Tenemos, por ejemplo, el caso clásico de la evolución del caballo. En los esquemas convencionales, se le representaba siempre como un progreso lineal que, mediante la selección continua de las variedades más aptas, apuntaba naturalmente hacia la aparición del caballo moderno. Es cierto que existe una

continuidad evolutiva entre las variedades encontradas en el registro fósil y el moderno caballo, pero dicha relación no puede representarse como un progreso lineal: se trata más bien de un arbusto con muchas ramificaciones, de las cuales sólo ha sobrevivido una.

En este esfuerzo mal dirigido, nos vemos inevitablemente atraídos a arbustos tan cercanos al borde de la aniquilación total que sólo conservan una ramita superviviente, luego consideramos que esta ramita es el colmo de los logros progresivos, en lugar de ser la probable última boqueada de un linaje más rico [...] es cierto que los caballos modernos son mayores, con menos dedos y con dientes que poseen coronas más altas. Pero esta secuencia no es más que una ruta laberíntica entre miles de un matorral complejo. Esta ruta particular ha conseguido prominencia sólo por una irónica razón: porque todas las demás ramitas se han extinguido. *Equus* es la única ramita que queda y, por ello, el extremo de la escala en nuestra falsa iconografía. Los caballos se han convertido en el ejemplo clásico de evolución progresiva porque su arbusto ha tenido muy poco éxito. Nunca concedemos el aplauso apropiado a los triunfos reales de la evolución de los mamíferos, ¿Quién ha oído alguna vez una historia sobre la evolución de los murciélagos, de los antílopes o de los roedores, los verdaderos campeones de la vida mamífera? No contamos tales relatos porque no podemos linearizar el amplio éxito de estos seres en nuestra escala favorita. Nos ofrecen miles de ramitas en un arbusto vigoroso, ¿tengo que recordar a alguien que al menos existe otra estirpe de mamíferos, especialmente cara a nuestros corazones por razones provincianas, que comparte con los caballos tanto la topología de un arbusto con una ramita superviviente como la falsa iconografía de una marcha hacia el progreso? (Gould 2009:35-37)

La historia de la vida no es una competencia —ni mucho menos una “carrera armamentística”— en la que nosotros seamos la especie ganadora. Gould argumenta atinadamente que no debemos asumir simplemente que los

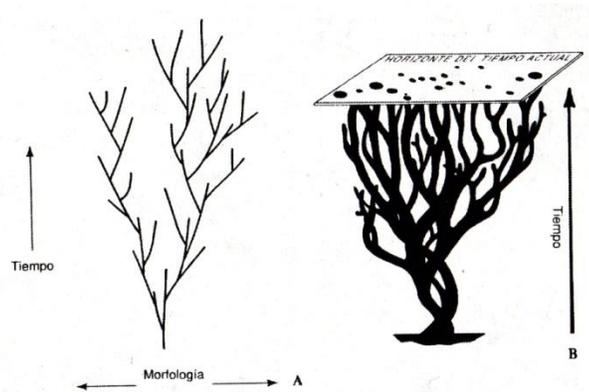
organismos del presente son necesariamente “más aptos” para la supervivencia que los organismos que existieron en el pasado. Podemos imaginar un conjunto diverso de organismos bien adaptados a las circunstancias ambientales normales que, sin embargo, pueden ser orillados a la extinción por eventos fortuitos, como por ejemplo el impacto de un meteorito sobre la Tierra. Quiénes sobrevivirán y quiénes se extinguirán no puede deducirse únicamente a partir de las cualidades intrínsecas de los organismos, existe un elemento irreductible de impredecibilidad en la historia de la vida que Gould no se cansa de enfatizar: el papel de la contingencia en la evolución biológica. El relato del progreso lineal descansa sobre una lógica simplista en la que los organismos inferiores se quedan en el pasado y sólo los superiores acceden al futuro.

Catástrofes y contingencias pueden literalmente vaciar un mundo ecológico que se encontraba relativamente bien adaptado y estabilizado, con lo que nuevos organismos deberán evolucionar para ocupar los nichos vacíos. Desde esta perspectiva, los nuevos ocupantes del edificio ecológico no necesariamente sobrevivieron por ser “más aptos” e inevitablemente partirán de formas de adaptación menos especializadas y menos eficientes que aquellas que caracterizaban a los anteriores inquilinos, quienes ya habían ocupado esos nichos por suficiente tiempo como para especializarse y estabilizarse. El arbusto de la evolución no es podado de manera artística y sistemática por un jardinero premeditado y perfeccionista: a veces, por accidente, recorta ramas enteras que ya formaban parte de una bella escultura.

Como señala el mismo Gould, incluso las iconografías que muestran la evolución como arbustos de múltiples ramas ilustran un crecimiento direccional hacia arriba, lo que también suele intepretarse como el relato de “ascenso” del progreso.

En una lectura literal, arriba y abajo deberían registrar sólo los más antiguos y más recientes en tiempo geológico: los organismos del cuello del embudo son antiguos; los del borde, recientes. Pero también leemos el movimiento hacia arriba como paso de simple a complejo, o de primitivo a avanzado. La

localización en el tiempo se combinó con el juicio sobre el valor. (Gould 2009:39)

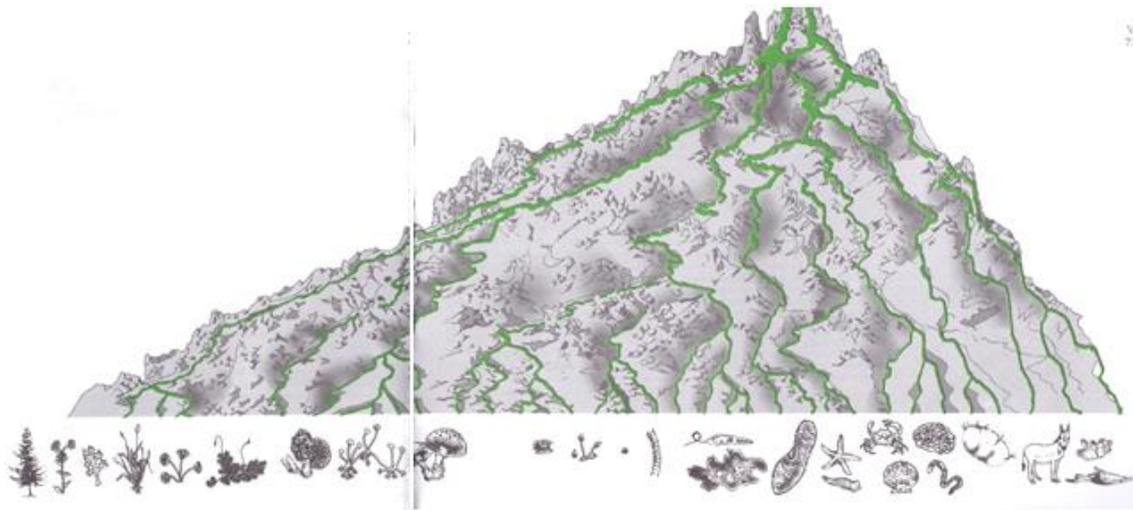


Representaciones de diversificación evolutiva como arbusto
(en Gould 2009:40)

Maturana y Varela proponen una metáfora visual diferente.

Imaginemos un cerro de punta aguzada. Imaginemos que desde esta cumbre aguzada lanzamos hacia abajo gotas de agua, siempre en la misma dirección, aunque por la mecánica del lanzamiento se den variaciones en cómo comienzan a caer. Imaginemos, por último, que las gotas de agua así lanzadas sucesivamente dejan una huella sobre el terreno que constituye su registro de descenso.

Como es evidente, al repetir nuestro experimento muchas veces, tendremos resultados ligeramente distintos. Algunas gotas rodarán derecho hacia abajo en la dirección escogida; otras encontrarán un obstáculo que sortearán de manera diferente debido a sus pequeñas diferencias de peso e impulso, desviándose hacia un lado o al otro; quizás habrá leves cambios de corrientes de viento que llevarán a otras gotas aún por caminos más sinuosos o que se alejan más de la dirección inicial. (Maturana y Varela 1984:71)



Diversificación evolutiva en metáfora de la gota de agua cayendo por la montaña
(Maturana y Varela 1984: 72-73)

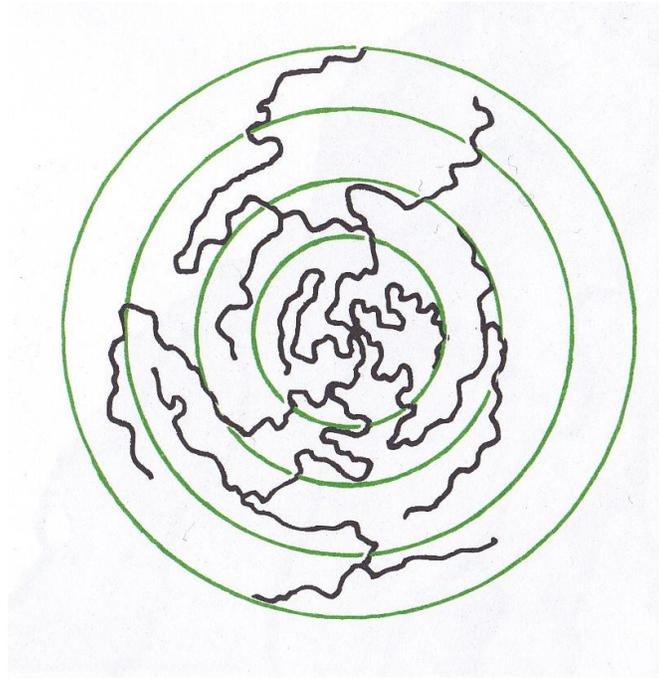
El flujo de gotas desde la cumbre sería una analogía del ancestro común que da origen a descendientes con variaciones estructurales que, según su historia de interacción con el ambiente, pueden divergir gradualmente hasta dar lugar a resultados muy diversos. Esta analogía muestra que la deriva natural de los seres vivos tomará sólo los caminos que son posibles en cada momento presente, pero con múltiples repeticiones, todos los caminos posibles —incluso los menos probables— serán explorados.

Aunque los autores no incluyen explícitamente el aspecto termodinámico en su interpretación, esta metáfora permite incluirlo. La tendencia natural de las gotas a moverse hacia abajo (disminución de la energía potencial gravitatoria) es una metáfora adecuada para la tendencia natural de la energía a disiparse (disminución de la energía disponible, aumento de la entropía) descrita por la segunda ley. En cada momento presente, las gotas de agua sólo podrán tomar aquellos caminos que conduzcan hacia abajo: los flujos hacia arriba son imposibles y el proceso de descenso es irreversible. De igual manera, el permanente impulso de la vida hacia la diversificación sólo encontrará caminos posibles en aquellas situaciones en que exista energía disponible que sea posible disipar. El permanente impulso de la vida hacia la diversificación avanza

explorando todas las direcciones posibles, avanzando en aquellas que la disponibilidad de energía y materiales, la selección natural y las contingencias lo permiten. De entre todos los caminos imaginables, sólo aquellos que avanzan de conformidad con la segunda ley serán posibles. La diversificación de los organismos y la ocupación progresiva de nichos requiere de energía disponible que la impulse, y ahí donde haya obstáculos que no permitan encontrar nuevas fuentes de energía (ahí donde las gotas encuentren obstáculos que bloqueen los caminos de descenso) la evolución de la vida encontrará callejones sin salida, linajes sin continuidad y posibilidades que nunca veremos aparecer.

Imaginemos ahora otra visión de las trayectorias de la deriva natural de los seres vivos, mirándolas desde arriba, por así decirlo, de modo que ahora la forma primordial está al centro, y los linajes derivados de ella se distribuyen a su alrededor, como ramificaciones que surgen del centro y se alejan de él mientras más se diferencian los organismos que los constituyen de la forma original.

Al mirar de esta manera, veríamos que la mayoría de los linajes de seres vivos que encontramos actualmente son, sobre todo, parecidos a las primeras unidades autopoieticas: bacterias, hongos, algas. Todos estos linajes equivalen a trayectorias que se mantienen cerca del punto central. Luego, algunas trayectorias se separan para constituir vertebrados superiores: aves y mamíferos. Como en el caso de las gotas de agua, dados suficientes casos, y suficiente tiempo, muchos de los linajes posibles, por extraños que parezcan, van a ocurrir. (Maturana y Varela 1984:75)



Evolución desde ancestro común hacia todas las direcciones, con distancias de complejidad con respecto al origen. (Maturana y Varela 1984:74)

Esta forma de visualizar la evolución hace más justicia al papel que organismos simples y complejos tienen en la historia de la vida. En el relato convencional del progreso lineal que va de los organismos simples a los complejos, como si estos últimos fueran intrínsecamente más aptos para la supervivencia, uno se pregunta ¿por qué, entonces, siguen hoy en día existiendo los organismos simples?, ¿no deberían haber evolucionado ya también hacia formas “superiores”? La realidad es que el sesgo antropocéntrico ha distorsionado enormemente nuestras representaciones. Lo justo es dar a los organismos simples el lugar central y ver a los más complejos —como nosotros— como casos literalmente excéntricos. La evolución de los organismos más complejos no es lo que “da sentido” a la historia de la vida en el planeta.

Hasta hace poco todavía parecía que, en el largo periodo existente entre el origen de la vida y la aparición de los primeros animales multicelulares en el registro fósil, nada interesante había sucedido en el planeta, pero esto era así simplemente porque no teníamos los medios necesarios para conocer esta parte

de la historia. Las bacterias inventaron —mucho antes de la existencia de plantas y animales— tanto la producción autótrofa de alimento como el movimiento de las heterótrofas en búsqueda de alimento. Inventaron tanto la depredación como la cooperación y la simbiosis. Los organismos más “simples” son quienes convirtieron un planeta inhóspito y desnudo en una burbuja protectora para la Vida y son los actores principales en el mantenimiento del metabolismo planetario. La evolución de la vida en la Tierra desde el origen de la vida hasta la articulación de la biosfera autorreguladora es un proceso verdaderamente fascinante, un relato que no incluya este proceso no puede considerarse una verdadera historia natural.

Mark Twain atinó a comparar sarcásticamente los relatos antropocéntricos de la historia de la vida con la construcción de la Torre Eiffel —en su momento el edificio más alto del mundo—:

El hombre ha estado aquí durante 32,000 años. El hecho de que costara cien millones de años preparar el mundo para él es prueba de que esto es para lo que fue hecho. Supongo que así es. No lo sé. Si la torre Eiffel representara ahora la edad del mundo, la capa de pintura en el botón del remate de su cúspide representaría la parte que al hombre le corresponde de tal edad; y cualquiera se daría cuenta de que la capa de pintura es la razón por la que se construyó la torre. Pienso que se darían cuenta: no lo sé. (en Gould 2009:47)

Aunque hoy tenemos mejores datos geológicos y paleontológicos (la edad de la Tierra se calcula alrededor de los 4,500 millones de años y la edad de nuestra especie en unos 250,000 años), la analogía se sostiene. Incluso los relatos que arrancan a partir de la aparición de los primeros animales cámbricos con esqueleto —hace unos 570 millones de años— tienen que obviar los primeros 4000 millones de años como si únicamente sirvieran de “preparación” para lo que vendría después: la evolución de los organismos más complejos, en su camino ascendente hasta la especie humana. Resulta obvio que no es así. Como dice Gould, no hay ningún misterio detrás de nuestro aferramiento a las distorsionadas iconografías y los sesgados relatos con los que representamos la historia de la

vida como un progreso que va de los organismos simples a los complejos, “se adoptan porque alimentan nuestras esperanzas de un universo de significado intrínseco definido en nuestros términos” (Gould 2009:44).

La mayoría de los mitos y las primeras explicaciones científicas de la cultura occidental rinden homenaje a este “deseo del corazón”. Considérese el relato original del Génesis, que presenta aun mundo con sólo algunos miles de años de edad, habitado por seres humanos desde siempre, excepto los primeros cinco días, y poblado por criaturas hechas para nuestro beneficio y subordinadas a nuestras necesidades [...]

Pero, como Freud observó, nuestra relación con la ciencia debe ser paradójica porque nos vemos forzados a pagar un precio casi intolerable por cada ganancia principal en conocimiento y poder: el coste psicológico del destronamiento progresivo del centro de las cosas, y una marginalidad creciente en un universo al que esto le tiene sin cuidado. Así, la física y la astronomía relegaron nuestro mundo a un rincón del cosmos. Y la biología cambió nuestra posición, desde un simulacro de Dios a un simio erecto y desnudo.

A esta redefinición cósmica mi profesión contribuyó con su propia y especial conmoción, el hecho más aterrador de la geología, por así decirlo. Al terminar el pasado siglo sabíamos que la Tierra había resistido millones de años, y que la existencia humana no ocupaba más que el último milimicrosegundo geológico de su historia: el último centímetro del kilómetro cósmico, o el último segundo del año geológico, en nuestras metáforas pedagógicas al uso. (Gould 2009:45)

Es aferrándonos a la mitología antropocéntrica con la que damos sentido a nuestra existencia —“buscando el consuelo cósmico”, dice Gould— que insistimos en afirmar la centralidad humana en un mundo que funcionó sin nosotros hasta el último momento, lo que nos obliga a interpretar todo lo que vino antes como una gran preparación. La insistencia en dar nuevos argumentos a favor de los relatos convencionales del progreso evolutivo —como si avanzara necesariamente de los

organismos simples a los complejos como un proceso de continuo perfeccionamiento— deben entenderse como “un dedo desesperado en el dique de la esperanza y la arrogancia justificadas cósmicamente”. (Gould 2009:46)

2.4.2. El propósito de la Vida

Entre los biólogos de hoy en día, la opinión dominante es que no hay argumentos científicamente justificados para interpretar la evolución biológica como “progreso”: no hay ningún perfeccionamiento absoluto, ningún progreso general, ninguna dirección en la que “avance” la evolución. Muchos de ellos creen que hablar de “progreso” en la evolución implica, se quiera o no, alguna forma de teleología basada en postulados religiosos. Lo que se rechaza no sólo es la idea de un “principio antrópico”, ni tampoco es solamente la idea de un progresivo mejoramiento o perfeccionamiento de los organismos, se rechaza también la idea de que la evolución avance en dirección alguna, cualquiera que esta sea. Para ellos, en lugar de la clara y bien definida senda ascendente del progreso, sólo existen una infinidad de caminos retorcidos, confusos y laberínticos, que no van hacia ningún lado. La evolución vagabundea sin rumbo alguno, “avanzando” y “retrocediendo” por igual: sólo puede haber un progreso relativo a las siempre cambiantes circunstancias. El proceso general se desarrolla sin ninguna intencionalidad de “mejorar” o de llegar a ninguna meta. De aquí la insistencia en hablar de la evolución como un mecanismo “ciego”, sin propósito. Desde esta perspectiva, lo único que existe es una competencia permanente entre organismos egoístas, “oportunistas”, que harán lo que sea por reproducirse a la máxima tasa posible, buscando nada más que el beneficio inmediato en una carrera desenfrenada por la vida en la que no existe la posibilidad de ninguna victoria definitiva. A esto me refiero como la “interpretación nihilista” de la evolución biológica: una visión en la que no hay ningún *sentido* que trascienda más allá de la efímera competencia egoísta.

Como ya he explicado, la interpretación termodinámica de la vida arroja nueva luz sobre esta importante discusión. Como dice Lotka, la evolución no es una mera “secuencia de cambios” en el tiempo, sino una secuencia de cambios con una direccionalidad: no podría ser de otra manera puesto que hablamos de procesos reales (a diferencia de modelos idealizados como los de la mecánica newtoniana), irreversibles, que ocurren gracias a la disipación de energía en un universo gobernado por la segunda ley. Resulta curioso recordar que Boltzmann se inspiró en Darwin —quien, a su vez, se inspiró en Adam Smith— para decir que, si bien el comportamiento de partículas individuales nos parece aleatorio, al analizar su comportamiento como poblaciones (utilizando métodos estadísticos) es posible definir reglas de validez general. Lotka dijo esto mismo: si bien no es posible plantear una “ley de la evolución” en términos de mejoramiento de especies aisladas o de un incremento de la complejidad de los organismos individuales, sí es posible postular un principio general en términos de la evolución de ecosistemas (incluyendo al ecosistema global).

Correctamente interpretado, el trabajo de Lotka permite entender una tendencia general, una direccionalidad del proceso evolutivo en términos de ensamblaje ecosistémico. En su permanente búsqueda de materiales y energía para cumplir su autopoiesis, las poblaciones crecen hasta donde los factores limitantes lo permiten (teoría del crecimiento limitado), el permanente impulso a la diversificación conduce a la aparición de nuevas especies ocupando sucesivamente nuevos nichos, se crean relaciones de dependencia e interdependencia, ciclos de recirculación de materiales, mecanismos de autorregulación, etc. En este nivel, sí podemos decir que la evolución avanza en el sentido de una creciente complejidad, siempre y cuando haya la materia y energía necesarias para sostenerla, entre otras condiciones. Cuando toda la energía disponible ya está siendo aprovechada, el crecimiento del ecosistema se detiene, instalándose en un estado metaestable o de equilibrio dinámico (siempre y cuando se mantengan constantes las condiciones que lo hacen posible). En general, la diversidad aporta estabilidad y incrementa la resiliencia ante perturbaciones y eventuales catástrofes.

En este sentido, es posible decir que el progreso evolutivo —entendido como ensamblaje ecosistémico— sí implica una progresiva “mejora” en términos generales. Uno de los aspectos centrales de la teoría Gaia ha sido precisamente que ésta postula mecanismos homeostáticos que mantienen las condiciones planetarias dentro de los márgenes que son más “benéficos para la vida”. Como explica Axel Kleidon, algunos biólogos han rechazado esta idea diciendo que es imposible definir unos parámetros que sean inherentemente “más propicios para la vida” en términos generales. Si situamos nuestra atención en el nivel de los organismos o especies particulares, no podemos identificar características que sean “universalmente” beneficiosas, todo es relativo al organismo en cuestión: lo que es bueno para un individuo será malo para otro (el ejemplo por excelencia sería el oxígeno atmosférico que fue venenoso para todo un mundo de diversidad biológica y ahora es indispensable para el mundo de respiradores de oxígeno). Sin embargo, es diferente hablar de las condiciones óptimas para la vida de un organismo particular que de las condiciones óptimas para la actividad biológica en general (*cfr.* Kleidon 2004:306). Superando, una vez más, los análisis centrados en los “átomos” o elementos mínimos, la termodinámica de la vida aporta el marco teórico para una visión holística/sistémica del asunto.

Cuando un ecosistema se estabiliza en torno a los niveles de máximo aprovechamiento de la energía, se encuentra en el punto de mayor productividad biológica, en el que una mayor cantidad de energía de alta calidad es almacenada en moléculas orgánicas y pasa a formar parte de la biomasa del sistema (la cual también se estabiliza en torno a los niveles máximos posibles, de acuerdo con los límites impuestos al sistema). Y conforme los organismos “productores” (autótrofos) alcanzan su mayor productividad, permiten también la mayor cantidad y diversidad posible de organismos consumidores (heterótrofos) articulados en redes tróficas multinivel. Esto también implica la mayor recirculación de materiales (mayor precipitación fluvial por evapotranspiración, por ejemplo), lo cual es benéfico para la productividad del ecosistema en conjunto. A nivel de ecosistemas, sí podemos ver que, conforme el ensamblaje ecosistémico avanza, hay mayor productividad biológica, mayor diversidad, mayor recirculación de materiales,

mayor eficiencia energética, mayor interdependencia, lo cual permite mayores poblaciones de organismos, comunidades más estables en el tiempo y más resilientes ante perturbaciones; todo esto puede verse como ecosistemas o comunidades cada vez más “aptos para la supervivencia” (más estables). En este sentido, a nivel de ecosistemas (incluyendo al ecosistema global), sí podemos hablar de un progreso general con su connotación de “mejoramiento”.

Se trata de un relato distinto, un progreso que no se define en términos de “éxito individualista” sino sistémico, holístico; una visión en la que la competencia y la exclusión son igual de fundamentales que la cooperación y la simbiosis; en la que el “éxito reproductivo” no implica el absurdo ideal de una reproducción infinita o un crecimiento infinito de las poblaciones, sino la articulación en unidades estables a lo largo del tiempo; donde la búsqueda de la supervivencia no puede entenderse como algo independiente de los procesos integrativos que van articulando unidades en niveles sucesivamente superiores, hasta llegar a la articulación de la biosfera como ecosistema global.

Decir que se trata de una “ley de la evolución” (como decía Lotka) o de una direccionalidad para el proceso evolutivo en general puede prestarse a malentendidos. Si bien he argumentado que se trata de un postulado de aplicabilidad general para la evolución biológica, hay que subrayar que, precisamente por ello, es también de aplicabilidad limitada. La vida, la fenomenología biológica, requiere de condiciones particulares para presentarse. Es necesario un flujo constante de energía y disponibilidad de materiales adecuados, y aún así, no cualquier flujo de energía puede generar ni sostener la vida. Así, aunque la evolución biológica es una forma más en la que se disipa la energía, la segunda ley no siempre se expresará de esta manera. Podemos suponer que la vida, como expresión de la segunda ley, es de cierto modo inherente al universo, y se presentará en aquellos tiempos y lugares en donde haya las condiciones propicias. En este sentido, podemos suponer que la vida en el planeta no sería una excepción en el universo. Suponer que en otros planetas se habrá desarrollado también “vida inteligente” —la cual es típicamente representada como figuras antropomorfas, de grandes cabezas, con tecnología y

civilizaciones “más avanzadas”— es otro exceso de la visión antropocéntrica del universo y la evolución... En cambio, de acuerdo a lo que aquí he expuesto, sí sería razonable esperar la evolución de biósferas autorreguladoras en otros planetas. Decir, entonces, que se trata de una “ley de la evolución biológica” no significa decir que la evolución avanzará siempre en esa dirección: todo depende de que existan las condiciones necesarias. Como es obvio, si el suministro de energía se agota o si las condiciones particulares se interrumpen, dicha “ley de la evolución” dejará de cumplirse. Sabemos ya que la vida sobre la Tierra no durará para siempre: la energía solar un día se acabará, pero antes de eso, el Sol que hoy nos alimenta se expandirá destruyendo las condiciones en que es posible la vida para después tragarse —literalmente— nuestro planeta. Mientras haya energía disipándose en nuestro universo, es posible que la vida apareciera nuevamente en otros tiempos y otros lugares. Si fuera verdad que el universo pulsa entre *big bangs* y *big crunchs*, disipando y reconcentrando la energía, quizá sería posible que la vida continúe apareciendo y extinguiéndose como parte del gran ciclo cósmico. En cambio, si fuera verdad que, en el fin de los tiempos, la energía del universo entero llegue a disiparse irreversiblemente —la “muerte térmica” del universo— evidentemente ya no habría posibilidad alguna de vida.

Este tipo de lúgubres pronósticos son habituales entre los estudiosos de la termodinámica. Contradiendo los reconfortantes relatos de la triunfal “ascensión del hombre” (*sic*), la salvación y la vida eterna (sean estas últimas producto de la intervención divina o del ingenio y la razón humanas), encontramos aquí una insistencia en la fatalidad y en la muerte térmica del universo (aunque, como expuse en el Capítulo 1, dicha posibilidad es sólo una de las alternativas que se discuten actualmente). Inspirados en la segunda ley, diversos pensadores concluyen que, así como es inevitable e irreversible el aumento de la entropía, así será inevitable e irreversible la muerte térmica, planteada como la gran derrota final. La carrera por la vida, entonces, no sería sólo una competencia en la que no es posible una victoria definitiva, sino una competencia en la que, a fin de cuentas, todos, irremediabilmente, vamos a perder. La direccionalidad de la evolución apuntaría directamente hacia la fatalidad.

Recientemente, el pesimismo típico entre los estudiosos de la termodinámica se ha combinado con un renovado entusiasmo por los avances realizados en la construcción de un gran marco teórico que permita unificar el estudio científico de los tres mundos: física, biología y ciencias sociales. Se trata, como ya he dicho, de un nuevo intento de integración transdisciplinaria, construido sobre cimientos distintos a aquellos sobre los que se basó el proyecto científico de la modernidad clásica (que buscaba reducir todas las ciencias a la física newtoniana). En ese espíritu, *La termodinámica de la vida* de Schneider y Sagan proponen un aforismo integrador al decir que *la naturaleza aborrece los gradientes*.

La idea de que la naturaleza aborrece los gradientes, una de las nociones clave de este libro, es muy simple: un gradiente no es más que una diferencia de temperatura, presión o concentración química, por ejemplo a lo largo de una distancia. La aversión de la naturaleza a los gradientes implica que éstos tenderán espontáneamente a desaparecer, de manera especialmente espectacular por la acción de sistemas complejos autoorganizados, que aceleran su disgregación. El concepto simple de gradientes que se deshacen resume la difícil ciencia de la termodinámica, desmitifica la entropía —tan importante para el universo como la gravedad— y arroja luz sobre cómo surgen de manera natural estructuras y procesos complejos, incluidos los de la vida [...] Mostraremos la gran importancia de esta ley —la llamada segunda ley de la termodinámica— en el origen, la persistencia y el eventual ocaso de los sistemas complejos naturales, desde los remolinos hasta las naciones-Estado. (Schneider y Sagan 2008:31)

Los autores proponen la idea de “gradientes que se deshacen” como algo más fácil de visualizar que la “producción de entropía”, dos formas de poner en palabras la segunda ley entendida como una característica fundamental del universo. Como exponen los autores, tanto los sistemas disipativos no-vivos, como los seres vivos —incluyendo ecosistemas y sociedades humanas— tienen en

común la cualidad de acelerar la reducción de gradientes, acelerar la producción de entropía, lo que, en una interpretación fatalista, implicaría acelerar la muerte térmica del universo. Así, como los mismos autores señalan, no se trata solamente de armar un gran marco teórico, sino de repensar nuestra visión del mundo, el lugar que ocupamos en él y el propósito de nuestra existencia:

La tendencia de la naturaleza a reducir gradientes, es decir, la tendencia de la energía a disiparse conforme a la segunda ley de la termodinámica, es asistida por organizaciones complejas, vivas y no vivas. Así pues, la segunda ley nos ayuda a comprender quiénes somos y qué somos y por qué estamos aquí. Integralmente ligados al entorno del que están separados, pero del que obtienen la energía para crecer, los organismos encuentran nuevas maneras de mantener y expandir su forma. Se turnan en la explotación y agotamiento de las fuentes finitas de energía. Su inteligencia [facultad cosgnoscitiva], sea consciente y mental o inconsciente y fisiológica, les ayuda a hacerlo. Al consumir energía, al realizar trabajo y construirse a sí mismos, desempeñan una función natural: la producción de entropía prescrita por la segunda ley de la termodinámica, que describe la tendencia al incremento de la desorganización y a la generación de caos atómico en cualquier proceso real. Pero no se limitan a obedecer dicha ley, sino que promueven activamente su cumplimiento. Cuando medimos las inmediaciones de organismos complejos y ecosistemas, observamos que mantienen su temperatura a base de disipar su calor interno, para así acelerar la producción natural de entropía. Irónicamente, o paradójicamente desde cierto punto de vista, aunque de manera bastante natural desde una perspectiva "holística", un sistema complejo cumple de manera más efectiva el objetivo natural de producir entropía que un sistema más simple y menos organizado. Este punto crucial conduce inevitablemente a la sospecha de que los seres vivos tienen una función natural, similar a la fisiología del corazón o de los pulmones, pero en relación con el medio ambiente mismo. Aunque no podemos afirmar categóricamente que el propósito de la vida es fomentar el caos, producir entropía, tal y como parece ser la función natural

de otros sistemas energéticamente organizados, como los huracanes y las reacciones químicas cíclicas, examinaremos esta controvertida idea. Continuando con el despiadado ataque a nuestro orgullo acometido por la ciencia, que nos ha mostrado una y otra vez que no somos entes especiales, distintos del resto del universo, quizá deberíamos abandonar nuestro último bastión, la convicción de que nuestra inteligencia y designio están por encima del resto de la naturaleza. Si la ciencia ha desmontado las ideas de que nos hallamos en el centro del universo, de que estamos hechos de una materia especial y de que no poseemos vínculos con los demás animales, sino con Dios, entonces el propósito de la vida quizá también sea vulnerable al ataque científico. Tal vez la vida, que tiene tanto en común con otros sistemas complejos energéticamente organizados, tenga en el fondo la prosaica función de transformar energía. Sabíamos que no éramos *tan* especiales. Pero el terrible espectro, la oscura sombra de la termodinámica nos amenaza ahora con revelarnos que podríamos ser aún menos especiales de lo que creíamos. Puede que seamos, parafraseando a Tallullah Bankhead “tan puros como el agua de cloaca”. (Schneider y Sagan 2008:19-20)

En este revelador fragmento, partiendo de la idea de que vivir implica una aceleración de la producción de entropía, Schneider y Sagan concluyen que “la función” e incluso “el propósito” de la vida es acelerar la producción de entropía. Decididamente me separo de esta interpretación. Schneider y Sagan se refieren a la producción de entropía lo mismo en términos de “tendencia” que de “función” y “objetivo” o “propósito”, tratando todos estos términos como si fueran intercambiables. Esto es un error. En su entusiasmo por plantear una visión integradora —y con una propensión (no siempre provechosa) a expresarse en términos metafóricos y aforísticos— los autores caen en el error de confundir los tres tipos de explicaciones finalistas, resolviendo la cuestión como si todas pudieran simplemente reducirse a la “tendencia” descrita por la segunda ley. No podemos reducir “propósito” (“meta”, “objetivo”) y “función” a “tendencia”. Para hablar de propósito hay que hacerlo en relación a un sujeto intencional; para

hablar de función hay que hacerlo con respecto a un sistema (lo cual no necesariamente implica intención o propósito); y puede hablarse de tendencia simplemente como direccionalidad que puede no cumplir ninguna función ni expresar ninguna intención. No hay que permitir que el legítimo entusiasmo por esta nueva forma de integrar las distintas ciencias nos haga caer en el mismo error fundacionalista de la ciencia moderna clásica, que para integrar pretendía reducir la fenomenología biológica y social a tendencias meramente físicas.

Para ilustrar dicho error podemos hacer la analogía con un automóvil. Evidentemente, para funcionar como transporte, el automóvil gasta combustible, produce desechos materiales (polución ambiental) y disipa energía (produce entropía). Sin embargo, decir que “la función” del automóvil es producir contaminación y/o entropía sería absurdo. La función del automóvil es transportar. Igual de absurdo sería pensar que los diseñadores e ingenieros que construyeron el automóvil tenían la intención de maximizar la producción de polución y entropía, o que los usuarios de los automóviles los utilizan porque tienen el propósito de maximizar la quema de combustible. Es un hecho que el automóvil *incrementa* la producción de entropía al funcionar (disipa energía que de otro modo permanecería en una forma útil), pero su función es realizar trabajo para lograr un cierto propósito, no disipar energía ni producir entropía. La diferencia se hace relevante al medir la “eficiencia” o el grado en el que dicho sistema está “cumpliendo su función”. Si la función del automóvil fuera quemar combustible, disipar energía y producir entropía, entonces los automóviles “más eficaces” no serían los que transportan más lejos con menos gasto de combustible, sino aquellos que se acaban el combustible más rápido, trabajando a la máxima potencia, ¡incluso aunque no transporten nada! Las rutas más convenientes no serían aquellas con las que llegamos más rápido y con menores gastos sino aquellas en las que logramos quemar todo el tanque de combustible. Como puede verse con este sencillo ejemplo, es indispensable distinguir entre la tendencia del combustible a quemarse (lo cual puede ocurrir sin estar cumpliendo ninguna función o intención), la función del automóvil y la intención de los diseñadores/usuarios. Los sujetos *están aprovechando la tendencia del*

combustible a quemarse para realizar trabajo de acuerdo con sus propósitos, pero esto no implica que su intención o la función de la máquina pueda simplemente reducirse o tratarse como idéntica a la tendencia del combustible a quemarse.

Lo mismo ocurre al decir que la función de los organismos no es mantener su autopoiesis y mantener la continuidad reproductiva de sus linajes (para lo cual deben realizar trabajo) sino maximizar la disipación de energía y la producción de entropía, “fomentar el caos”. Algo así es lo que sugieren Schneider y Sagan al enfatizar que los organismos producen “polución” y “desechos termodinámicos” como si esa fuera su “función” con respecto al “objetivo natural” de destruir gradientes. Como ya dije, podemos hablar de un organismo como un sistema que realiza trabajo, para lo cual requiere disipar energía, lo cual a su vez implica, en efecto, una consecuente producción de entropía y de desechos materiales. Pero para hablar de trabajo tenemos que postular un cierto fin u objetivo, cuestión que va implícita en la idea de sistema autopoietico: el objetivo del sistema es producirse a sí mismo y mantener la continuidad de su linaje reproductivo, en relación con este objetivo podemos decir que sus componentes y los distintos trabajos que realiza cumplen una “función”. Y he defendido que esto también puede legítimamente describirse en términos de una intencionalidad básica de los seres vivos (entendidos como sujetos intencionales). Defender esto es crucial para entender que, aunque todo organismo incrementa la producción de entropía al realizar trabajo para mantener la continuidad de su vida y la de su linaje, la competencia por eficiencia entre los seres vivos (la selección natural) conduce hacia la aparición de organismos y especies cada vez más eficientes, que logran cumplir sus objetivos biológicos con menores insumos, con menor disipación, con menor realización de trabajo y con menores pérdidas entrópicas. La tendencia natural de la energía a disiparse (que, en su mayor parte, se produce sin cumplir función alguna y sin expresar propósito alguno) es aprovechada de la manera más eficiente posible por los seres vivos para realizar trabajo en función de su propósito o intencionalidad básica: mantener la continuidad de su autopoiesis y de sus linajes reproductivos (quienes no lo hagan de esta manera desaparecerán por selección natural). La producción de entropía no es, en sí misma, nociva para la

vida, es el sostén de la vida. Mientras haya un suministro constante de energía, producir entropía no es un problema para la vida, el agotamiento de las fuentes de energía sí lo es. La producción de “desechos” y “polución” tampoco es necesariamente nociva. La creatividad de la vida y la evolución por selección natural construyen ciclos de recirculación de materiales. Un organismo bien integrado a un ecosistema funcional generará desechos que sirven como insumos para otros y no dañan ni generan caos, al contrario, fomentan la productividad biológica de todo el sistema ecológico.

Como se puede ver, la confusión entre los tipos de explicación finalista (tendencia, función, propósito) va de la mano con la malinterpretación del principio de Lotka que ya he discutido más arriba. Herrmann-Pillath se adhiere a quienes afirman que el “principio de maximización de la potencia” explica la evolución biológica y social como un proceso lineal de progresiva complejización a nivel de organismos (y sociedades). “Increasing structural complexity of functions is a manifestation of the Second Law with reference to ensembles of functions and environment” (Herrmann-Pillath 2013:115).

the Constructal Law offers the conceptual way to unify the two notions of evolution, in the sense of evolving structural complexity, and the Second Law, in the sense of increasing entropy: The Constructal Law states that evolving structural complexity is a means to dissipate energy at a maximum rate (Herrmann-Pillath 2013:117)

En la interpretación fatalista, sin embargo, el relato del progreso de los organismos simples a complejos no se ve ya como una ascensión triunfal sino, inversamente, como un gradual incremento en las capacidades de “fomentar el caos en el mundo”. La “prosaica función” de la vida —como dicen Sagan y Schneider—, su permanente impulso a producir desechos termodinámicos y caos atómico, se realizaría con cada vez mayor efectividad.

Si la selección natural favoreciera sistemáticamente a los organismos maximizadores —si éstos fueran intrínsecamente “más aptos para la supervivencia”—, a largo plazo veríamos organismos que captan y disipan cada

vez más energía, produciendo cada vez más entropía. La contradicción contenida en este argumento se hace visible cuando pensamos que, si la función de los organismos es maximizar la disipación de energía y la producción de entropía (la “reducción de gradientes”), entonces los más eficientes buscarán realizarla incluso por encima de sus propios objetivos biológicos, lo cual implica contradecir la teoría de la selección natural. Si la función de los organismos fuera “maximizar la disipación de energía” en vez de “cumplir sus objetivos biológicos con la mayor eficiencia” (recuérdese la oposición entre maximizar eficiencia y maximizar disipación o *throughput* energético), entonces aquellos organismos que disipen la energía disponible a la máxima velocidad (máxima potencia) serían los “más eficientes” para cumplir dicha función, *incluso aunque se autodestruyan en el proceso*. Por absurdo que parezca, diversos autores de hecho están diciendo cosas parecidas. Herrmann-Pillath dice:

With reference to biological evolution, the MPP [Maximum Power Principle] is an alternative way to conceptualize the biological notion of ‘fitness’ that I will scrutinize in more detail in Chapter Three. There is a long tradition to refer fitness to optimization, hence efficiency (overview in Leigh 2001). However, as Grafen (2008) has shown formally (yet without drawing the final consequences), there is a paradox of evolution if one adheres to the interpretation of fitness as optimality: Firstly, if every individual optimizes, then there is no selection, and vice versa, secondly, if there is no selection, every individual optimizes. This is the necessary result from the fact that optimality always implies reference to an equilibrium state, but selection can only work on non-equilibrium states. Evolution is a non-equilibrium phenomenon; therefore, the notion of optimality needs to be substituted by the MPP which states, firstly, that evolution tends to favour expressions of MPP, and secondly, that these expressions drive evolution, thus maintaining the non-equilibrium states that make up evolutionary sequences. This connection between ‘fitness’ and MPP results from the more general relationship between proper functioning and the actualization of work directed towards the environment that exerts selective forces on functions.

For example, 'fitness' as reflected in higher speeds of escaping predators does not reflect optimality principles, but MPP in the sense of the capacity to mobilize higher energetic throughputs to realize this function. This interpretation matches with the general approaches in Evolutionary Ecology that relate fitness [in] the sense of differential reproduction with the generic 'currency' of energy harvested in foraging activities [...] So if energy is considered as generic currency for fitness, it seems appropriate to see MPP as the correlated physical non-equilibrium phenomenon. (Herrmann-Pillath 2013:111)

Como ya expuse, existe todo un cuerpo de investigaciones y desarrollos teóricos que respaldan la idea de que la "aptitud para la supervivencia" [*fitness for survival*] incrementa con la eficiencia (los mismos Sagan y Schneider ofrecen múltiples argumentos en este sentido). No tiene ningún sentido decir que "si todos los organismos optimizan no hay selección", ¡al contrario!, las distintas cualidades de cada organismo (distintos procesamientos metabólicos, por ejemplo) le darán distinta eficiencia energética y en función de eso se decide gran parte de la "competencia por la vida". Tampoco es verdad que "optimizar" refiera a un estado de equilibrio: optimizar el aprovechamiento de energía para la realización de trabajo es, evidentemente, algo que sólo puede ocurrir en sistemas disipativos, alejados del equilibrio termodinámico. Ya presenté extensamente mis argumentos contra quienes sostienen, como hace Herrmann-Pillath en este fragmento, que el principio de Lotka (entendido aquí como principio de la máxima potencia) es aplicable a nivel de organismos: sostengo que esto es un error y que hay que distinguir entre el nivel de organismos y especies individuales y ecosistemas. Por último, en el fragmento anterior, Herrmann-Pillath señala que su interpretación coincide con ideas planteadas en ecología evolutiva, en concreto, con quienes entienden que la "aptitud para la supervivencia" puede medirse simplemente en términos de reproducción diferencial. Una vez más, la idea de que "más apto" es simplemente quien logra reproducirse más, implica un ideal de crecimiento infinito que va contra lo que observamos en la naturaleza, como bien identificó Lotka al hablar de los factores limitantes al crecimiento. Una población que crezca

demasiado puede caer en una “pesadilla malthusiana” y desaparecer por agotamiento de recursos. Puesto en términos energéticos, poblaciones más grandes, en efecto, captan y disipan mayores cantidades de la energía disponible en su ambiente, por lo que, desde la visión de estos autores, “mayor aptitud” es igual a “mayor reproducción” y por lo tanto a “mayor captación y disipación de energía”. Algo muy semejante es lo que afirma DeLong en su revisión de estudios experimentales para contrastar empíricamente el principio de la máxima potencia. Revisando ejemplos de laboratorio de “competencia excluyente” (en donde dos poblaciones de organismos distintos compiten entre sí por recursos limitados, resultando en la predominancia de una y la extinción de la otra), observa que, efectivamente, el incremento de las poblaciones implica un incremento de la disipación de energía o la “potencia” (planteada aquí como medida del flujo de energía) generada por la población en conjunto.

Generally, there were increases in power through time that were contemporary with the increases in population size. Although trivial on the face of it (more individuals = more power), the fitness incentive of the individuals in the population, according to the MPP [Maximum Power Principle], is to increase power whenever possible, even if it is unsustainable. [...] Thus, the MPP does not necessarily predict that power will always go up through time. Indeed the studies reviewed here showed considerable fluctuations of power that showed short-term ups and downs in power as well as evidence of resource depletion... (DeLong 2008:1335)

Como vimos más arriba, DeLong afirma que hay una relación directamente proporcional entre maximizar la “aptitud para la supervivencia” (*fitness*) y maximizar la potencia (el flujo y tasa de disipación de energía a nivel de organismos): “an organism that captures and utilizes more energy than another organism in a population will have a fitness advantage” (DeLong 2008:1329). Sin embargo, la conexión entre aptitud para la supervivencia y maximización de la potencia es anulada por los propios hallazgos del autor, quien en el párrafo arriba citado reconoce que el imperativo hacia la maximización de la potencia conduce

hacia situaciones insustentables y de agotamiento de recursos, que obligan a las poblaciones a disminuir (y que podrían hacerlas desaparecer por completo). ¿Qué sentido tiene decir que el “incentivo a la aptitud” [*fitness incentive*] conduce a las poblaciones a crecer ciegamente hacia situaciones de posible extinción por agotamiento de recursos? Si esto ocurre, entonces el imperativo a crecer y maximizar la captación y disipación de energía que fluye a través de la población de organismos *no es equivalente a un imperativo hacia la supervivencia*. Interpretando el principio de Lotka de esta manera tendríamos que decir que la selección natural elegirá o favorecerá a aquellos organismos/especies que produzcan más entropía *incluso si al hacerlo terminan autodestruyéndose como poblaciones*. Obviamente, la lógica fundamental de la teoría de la selección natural —poblaciones que tienden a la autodestrucción desaparecerán, poblaciones que cumplen mejor el objetivo de mantenerse vivas, tienen mejores probabilidades de sobrevivir— contradice esta interpretación. Contra lo que afirman sus seguidores, Lotka era bien consciente de esto. Como ya expuse, el error aquí está en aplicar equivocadamente el principio de Lotka a nivel de competencia entre organismos, equiparándolo al principio de Gause (exclusión competitiva). Como el propio Odum reconoce, el principio de Gause⁵⁸ sólo puede aplicar en periodos de crecimiento rápido (y no necesariamente), sólo puede observarse en periodos de inmadurez ecosistémica, cuando existe abundante energía disponible y las poblaciones están lejos de topar con los factores limitantes del crecimiento. Para sobrevivir a largo plazo, las poblaciones deben integrarse a ecosistemas que les permitan subsistir de manera estable por periodos prolongados, lo cual implica necesariamente mecanismos de (auto)regulación.

Junto a la confusión entre los distintos tipos de explicaciones finalistas, la malinterpretación del principio de Lotka y el aferramiento a la visión lineal de la evolución organísmica (de simple a complejo), un cuarto elemento está siendo esgrimido desde la interpretación fatalista de la evolución (que afirma que el “propósito de la vida” es acelerar la producción de entropía y, por lo tanto, la

⁵⁸ Entendido como que los organismos que se reproduzcan más rápido, captando y disipando energía más rápido, tendrán ventaja sobre sus competidores, llegando a eliminarlos.

muerte térmica del universo). Se trata del Principio de la Máxima Producción de Entropía [*Maximum Entropy Production Principle, MEPP*]. Como argumenta Herrmann-Pillath:

the relationship between the MPP and the concept of entropy is straightforward to establish as the maximization of energy throughput ultimately results into the production of entropy; this conclusion needs to refer both to the flow of energy throughputs and the ultimate decay of the structures that generate the flows (compare Salthe's 1993 emphasis on the senescence of living systems). Then, we can say that the MPP principle entails the Maximum Entropy Production Principle, the MEPP; of course, this means that the MPP is grounded in the MEPP ontologically. (Herrmann-Pillath 2013:112)

Tomando como punto de partida la equivocada interpretación del principio de Lotka, el razonamiento de Herrmann-Pillath es correcto: si los organismos compiten por maximizar el flujo de energía (captación y disipación), entonces compiten por maximizar la producción de entropía. La observación de que no sólo en vida los organismos buscan incrementar la producción de entropía sino que incluso después de morir, al descomponerse sus cuerpos, se sigue cumpliendo el principio de maximización de la entropía, encaja muy bien en esto que denomino la “interpretación fatalista” de la evolución biológica.

De acuerdo con la descripción teórica elaborada por Dewar (2003), de todos los estados estacionarios que son posibles (compatibles con las restricciones impuestas), el Estado de Máxima Producción de Entropía constituye el estado estadísticamente más probable hacia el cual el sistema tenderá a evolucionar, siempre y cuando tenga los suficientes grados de libertad para hacerlo. No hay que confundir el estado de máxima producción de entropía con el estado de máxima entropía (equilibrio termodinámico). Aunque la terminología puede ser confusa, la diferencia es bastante fácil de comprender. En el estado de máxima entropía (equilibrio termodinámico), ya no hay ninguna producción de entropía porque ya no hay energía disponible que pueda ser disipada o convertida

en trabajo. El estado de máxima producción de entropía es completamente lo contrario: es un estado de equilibrio dinámico, metaestable, válido sólo para sistemas que alcanzan un estado estacionario lejos del equilibrio termodinámico, alimentados por una fuente continua de energía.

Considerando la tendencia observable de los ecosistemas a estabilizarse —a instalarse en un estado metaestable alejado del equilibrio termodinámico— algunos autores han sugerido que la sucesión ecológica y la evolución de ecosistemas pueden interpretarse como una evolución hacia el estado más probable, tal y como dicta el principio de la máxima producción de entropía. Este estado podría explicar algunas de las características que típicamente se describen como homeostáticas: metaestabilidad, reajuste y resiliencia ante perturbaciones, recuperación después de catástrofes, etc. Con base en lo anterior, tanto Axel Kleidon (2004) como Mahesh Karnani y Arto Annala (2009) sugieren que la base termodinámica permite comprender que la direccionalidad evolutiva apunta —sin necesidad de un plan maestro— hacia la articulación de sistemas cada vez más integradores hasta llegar a la biosfera completa, con lo que la evolución del sistema-Gaia no sólo es posible sino que constituye el desenlace predecible del proceso. Con base en el principio de la máxima producción de entropía llegan a la conclusión de que:

El ecosistema global ha evolucionado hacia la máxima disipación de energía conforme numerosos sistemas de transducción de energía se han integrado formando sistemas más y más abarcadores (Karnani y Annala 2009:84).

De acuerdo con estos autores, así se entiende que, al igual que otras estructuras disipativas (sistemas abiertos alejados del equilibrio), los ecosistemas —incluido el ecosistema global— pueden permanecer estables por periodos largos de tiempo si existe un suministro constante de energía. La misma dinámica se observa en todos los niveles: desde los organismos individuales hasta el ecosistema global, los sistemas vivos —en tanto disipadores de energía— no actúan de manera independiente sino como un sistema termodinámico multinivel, estrechamente

acoplado, que evoluciona hacia la máxima disipación posible, hacia la máxima producción de entropía.

Environmental homeostasis, large-scale, life-enhancing effects, and evolution by natural selection do not contradict each other, but are just different reflections of biotic activity as a thermodynamic process which evolves to a state of MEP [Maximum Entropy Production]. (Kleidon 2004:308)

De esta manera, los autores encuentran una fundamentación termodinámica para cubrir el vacío teórico que diversos críticos señalaban como insuficiencia inadmisibles de la teoría: los postulados centrales de la hipótesis Gaia —en su versión “fuerte”— aparecerían como consecuencia de los imperativos termodinámicos. Como afirma Herrmann-Pillath:

These considerations suggest a new approach to understanding the Earth System, which builds on earlier theories of ‘Gaia’. The original Gaia hypothesis stated that the Earth System is a tightly integrated complex system in which life evolves in a way to maintain the biogeochemical, climatic and other physical conditions that are the necessary conditions of its viability [...] The new approach (I follow the exposition by Kleidon 2009, 2010, 2011) defines the Earth System as a non-equilibrium system; the evolution of this system drives the emergence of new states which are even farther away from equilibrium. This reflects the working of the Second Law via its expressions of MPP and MEPP. So, in this new view Gaia is a self-reinforcing non-equilibrium system. Life —and I add human technology, as we shall see later—is the basic mechanism of physiosemiosis that drives these sequence of non-equilibrium steady states. (Herrmann-Pillath 2013:128)

La idea es que la “función” de la biósfera es llevar al Sistema Tierra hacia estados de máxima producción de entropía (Herrmann-Pillath 2013:xxiv), alejándose más y más del equilibrio termodinámico.

El propio Kleidon se refiere al principio de la Máxima Producción de Entropía como una “hipótesis”, una derivación teórica cuya validez como descripción de fenómenos reales no está comprobada (Kleidon 2004:274). Desde

mi punto de vista, aunque falta más investigación para una evaluación concluyente, el hecho de que dicho principio haya sido derivado a partir de postulados de la teoría de la información (tomando como válida la identidad entre entropía informacional y entropía termodinámica, contra lo cual argumenté ya en el Capítulo 1) me hace sospechar que finalmente se demostrará que no es aplicable a procesos termodinámicos reales, ni a la evolución biológica o social. Pero además, la investigación empírica sobre la termodinámica tanto de organismos como de ecosistemas —Schneider y Sagan ofrecen múltiples ejemplos— no confirma la idea de que los sistemas vivos se instalen en el estado de máxima producción de entropía. Como vimos, el estado metaestable mantenido por sus mecanismos homeostáticos se caracteriza por altos valores de eficiencia, y de hecho un incremento anormal en la producción de entropía es signo de estrés, enfermedad, crisis o involución a estados de inmadurez (semejante a una “fiebre”). Lotka era consciente de esto, y describe los ecosistemas como articulaciones de “transformadores de energía” que también acumulan energía y retardan la disipación. Como en el ejemplo del automóvil, disipar toda la energía disponible a la máxima tasa posible nos dejaría botados a media carretera sin posibilidad de seguir realizando trabajo ni de cumplir nuestros objetivos. Además, entendido correctamente, el trabajo de Alfred Lotka permite entender la evolución biológica como un proceso de progresiva articulación y ensamblaje ecosistémico hasta instalarse en estados metaestables que muestran dinámicas homeostáticas: no necesitamos el principio de la máxima producción de entropía para explicar esta dinámica.

Por lo tanto sostengo que, aunque resulta muy atractiva a primera vista por estar logrando una nueva integración metateórica en términos distintos a los de la ciencia moderna clásica, la interpretación fatalista de la evolución biológica parte de cuatro premisas equivocadas:

- a) Que el hecho de que la vida implique una aceleración de la *tendencia* natural a producir entropía significa que la *función* e inclusive el *propósito* de la vida es maximizar la producción de entropía.

- b) Que el principio de Lotka establece que los organismos competirán por maximizar la tasa de captura y disipación de energía, maximizando por lo tanto la producción de entropía.
- c) Que el principio de Lotka establece una evolución lineal que va de los organismos simples a complejos, siendo que mientras más complejos pueden disipar más energía y cumplir mejor el objetivo de “fomentar el caos” en el mundo.
- d) Que comunidades y ecosistemas buscarán alcanzar estados de máxima producción de entropía, de acuerdo con un principio teórico derivado de la teoría de la información.

El marco que hasta aquí he presentado también busca avanzar en la integración teórica de nuestros estudios del mundo físico, biológico y humano, pero parte de premisas distintas y, como veremos, conduce hacia conclusiones también distintas.

- a') Los seres vivos aprovechan la tendencia natural de la energía a disiparse para realizar trabajo en función de sus objetivos biológicos, a saber: el mantenimiento de su autopoiesis y de la continuidad reproductiva de sus respectivos linajes.
- b') El principio de Lotka señala que, si bien los organismos compiten por cumplir sus objetivos biológicos de la manera más eficiente posible (es decir, con la menor disipación y la menor producción de entropía posibles), conforme el ensamblaje ecosistémico alcanza sus límites de crecimiento se estabiliza en torno a los niveles de máximo aprovechamiento de la energía disponible
- c') A nivel de organismos la evolución se diversifica en todas las direcciones posibles, sólo a nivel de ecosistemas está justificado hablar de un progreso direccional en el sentido de complejidad creciente, siempre y cuando haya la energía y condiciones necesarias.
- d') El progreso evolutivo-ecosistémico hacia el estado de máximo aprovechamiento de la energía disponible implica, ciertamente, un progresivo incremento de la producción de entropía total (con una

disminución de la producción de entropía específica), pero el estado metaestable hacia el cual se dirige el proceso no es el estado de máxima producción de entropía.

El fenómeno de la vida, al igual que otros procesos disipativos, implican una aceleración de la producción de entropía. Sin el trabajo que ellos realizan para cumplir sus objetivos biológicos, la energía tendría que buscar otros caminos para degradarse, pero de cualquier manera terminaría disipándose. Así como un río fluye aunque nadie construya ruedas de molino para aprovechar su fuerza convirtiéndola en trabajo, así la energía se disiparía aunque ningún organismo la aprovechara para mantenerse con vida. Los organismos buscan aprovechar al máximo dicha energía, y para ello también construyen represas que almacenan y retardan la disipación. Los seres vivos no buscan la maximización de la producción de entropía por encima del mantenimiento de su vida, por la sencilla razón de que quienes así lo hicieran serían eliminados por selección natural. Los que quedan son los que logran cumplir sus objetivos con mayor eficiencia y menor disipación. Y aunque esto sigue siendo un aumento en la producción de entropía si lo comparamos con lo que sucedería en caso de que no existieran los seres vivos, visto a escala cósmica, el incremento de producción de entropía del cual ellos son responsables es absolutamente insignificante. La cantidad de energía que disipa el Sol por segundo es infinitamente mayor, y ésta es sólo una entre miles de millones de estrellas. Una minúscula fracción de la energía disponible en el sistema solar, energía que de cualquier manera se disiparía irremediablemente en la nada, está siendo aprovechada por los seres vivos para construirse a sí mismos y para construir todo un mundo de maravillosos fenómenos y experiencias. El universo no va a “morir” por ese insignificante aumento de entropía, en cambio, a los seres vivos les va la vida en ello. Decir que aceleran la muerte térmica del universo es un exceso de dramatismo, los seres vivos aprovechan el flujo de la energía para crear vida.

Un ser vivo, como decía Kant, es causa de sí mismo. De manera parecida, la vida es “fin” de sí misma. El propósito de la vida es mantener la continuidad de la vida, mientras haya las condiciones y la energía disponible para hacerlo.

CAPÍTULO 3

Evolución Humana

We are here to awaken from our illusion of separateness

Thich Nhat Hanh

A human being is part of the whole called by us the universe, a part limited in time and space. He experiences himself, his thoughts and feelings as something separated from the rest, a kind of optical delusion of his consciousness. This delusion is a kind of prison for us, restricting us to our personal desires and to affection for a few persons nearest to us. Our task must be to free ourselves from this prison by widening our circle of compassion, to embrace all living creatures, and the whole of nature in its beauty

Albert Einstein

3.1. ¿Qué es un ser humano?

¿Cómo definir lo que somos? ¿Cuáles son las características que nos definen? ¿Cuál es nuestro lugar en el mundo? ¿Cómo entender nuestra existencia en este mundo? Atendiendo a las etimologías identificamos inmediatamente un punto crucial en la discusión. La idea griega de *anthropos* identifica como característica fundamental del ser humano la observación (*opsis*). En el *Cratylus* de Platón encontramos la siguiente explicación:

Here is what the Word *anthropos* means: no other animals examine, consider, or observe closely those things which they have seen, but a human, as soon as he has something —that is “*opope*”— he observes closely and considers that which he has seen (*opopen*). Therefore, humans alone of all animals rightly deserve the name “*anthropos*”, because they observe closely what they have seen (*anathron ha opope*). (Plato, *Cratylus* 399c)

Así, en esta visión clásica, con “observación” se alude a algo más que el mero acto sensorial de mirar: nuestra característica fundamental —única entre el resto de los animales— sería la de examinar y reflexionar en torno a lo observado. Tenemos, pues, un planteamiento sobre el conjunto al que pertenecemos —los animales— y de la cualidad particular que nos distingue entre ellos —la capacidad de análisis, la inteligencia, la “Razón”—. Algo semejante encontramos en la etimología de *Homo sapiens*. De manera interesante, el latín *homo* —“humano”— comparte raíz con *humus* —polvo, tierra—, lo que sugiere la idea de que estamos hechos de polvo, de que provenimos de la tierra. La yuxtaposición con *sapiens* sugeriría en conjunto algo como un polvo que cobra conciencia, un habitante de la tierra poseedor de saber, un terrícola inteligente (*intelligent earthling*).

Como ya adelanté (Capítulo 1), la escuela de Elea proyecta la inteligencia hacia un plano trascendente al mundo material, entendiéndola como la cualidad divina responsable de que exista orden en el universo, un principio divino que gobierna el mundo. Aquí tenemos ya un planteamiento metafísico dualista que será especialmente difundido por el cristianismo evangelizador que, en la Edad Media, abreva de las raíces clásicas en los tiempos en que se instaura como verdad imperial. Si bien la Biblia también recoge la idea de que el ser humano fue formado a partir del barro —la etimología de “Adán” también conecta con la tierra—, la cosmovisión judeocristiana tiene como elemento básico una definición del ser humano que le conecta fundamentalmente con esa realidad trascendente, eterna, espiritual, precisamente por la inteligencia, misma cualidad que le separa metafísicamente del mundo terrenal. En el siglo XVI, esta visión tomó la forma que dominará el pensamiento moderno en el pensamiento de Descartes (más sobre

esto al final de este capítulo). Y aunque hoy en día el pensamiento científico ha derivado hacia formas principalmente ateas y materialistas —que niegan la realidad de la dimensión espiritual, la *res cogitans*— seguimos entendiendo al mundo físico en términos de *res extensa*, por lo que la inteligencia y la conciencia siguen pareciendo pertenecer a otro orden de realidad. Así, aunque a partir de Darwin nos concebimos a nosotros mismos como animales, nos consideramos fundamentalmente diferentes al resto por esta misma cualidad, la dichosa inteligencia entendida como una característica “todopoderosa” en el sentido de que *siempre* otorgará ventaja adaptativa a quienes la posean. “Los organismos más inteligentes son los más aptos para la supervivencia” reza un artículo de fe moderno. Si bien en varios sentidos el animal humano puede resultar poco impresionante —un “mono desnudo”—, la admiración narcisista por nuestro gran cerebro no tiene límites.

Hay que entender bien lo que implica sostener la tesis de la excepcionalidad humana. La taxonomía biológica procede rutinariamente identificando los conjuntos y subconjuntos a los que pertenece cada organismo, para identificar finalmente las características propias de una especie, aquellas que le distinguen particularmente dentro de dichos conjuntos. Sin embargo, identificar el carácter único de una especie no equivale a decir que tal organismo sea una excepción en el mundo natural. Toda especie es única. La excepcionalidad es otra cosa. Podemos notar características que hacen único a un colibrí, por ejemplo, que tiene el corazón proporcionalmente más grande en relación a su volumen corporal, o la velocidad de su aleteo. ¿Esto le hace ser una *excepción* en el mundo natural? No. La excepcionalidad implica una idea —explícita o implícita, “clara y distinta” como en la filosofía cartesiana o confusa y difusa como en la mentalidad contemporánea— de que cierta cualidad no pertenece al mundo natural, que rompe con él y va en contra, que escapa de las leyes naturales y crea sus propias leyes, que es imposible de comprender en términos de “fenómeno natural”. Hoy en día defender esta idea tiene problemas dado que se cree ya superado el esquema dualista materia-espíritu en el cual era fácil defenderla (en realidad no está superado, como discutiré al final de este capítulo). Resulta

problemático decir que es simplemente nuestro gran cerebro lo que nos hace excepcionales, pues existen otros animales con grandes cerebros. Más allá de las cualidades que nos hacen únicos —la antropología física y la bioantropología saben identificar las particularidades de cada hueso y diente que distinguen a nuestra especie— se gasta mucha tinta buscando trazar nuevamente la línea que nos hace excepcionales, identificando las cualidades que nos hacen pertenecer a un orden aparte: en especial, se afirma que es la “cultura” la que nos hace vivir fuera de la Naturaleza, el lenguaje, la ciencia, la autoconciencia, etcétera.

Dime de dónde vienes y te diré quién eres. En el siguiente apartado presentaré una historia de nuestra especie identificando algunos de los hitos que han definido una serie de características fundamentales para describir qué somos. Dicha historia incluye la aparición de muchos rasgos más allá de nuestro gran cerebro, pero, en efecto, revisar la historia evolutiva del sistema nervioso será fundamental. Lo que buscaré, sin embargo, no será identificar el punto en el que el ser humano se separa de la Naturaleza, sino mostrar una visión de continuidad ininterrumpida, una comprensión de nuestra naturaleza en la que ni la cognición, ni el cerebro, ni la autoconciencia, ni el lenguaje, ni la cultura, ni la ciencia aparecen como algo “fuera” de la Naturaleza. Somos, fundamentalmente, seres vivos. Más allá de la visión gnoseocéntrica de nuestra “esencia” —centrada exclusivamente en la *gnosis* o en la inteligencia que, como muestra Schaeffer, es un elemento fundamental de la tesis de la excepción humana— buscaré desarrollar una visión biocéntrica, evolutiva y no-esencialista de nuestra especie en la que, además, rasgos importantes aparecen por efecto de contingencias históricas y no como una necesidad.

Para ello utilizaré tres fuentes principalmente: *¿Qué es la vida?* de Lynn Margullis y Dorion Sagan, *El Árbol del Conocimiento: las bases biológicas del entendimiento humano*, de Humberto Maturana y Francisco Varela y *La vida maravillosa* de Stephen Jay Gould. En particular, como expuse en el Capítulo 2, el marco teórico de estos últimos autores permite entender que si decimos que lo que nos define de manera fundamental es que *somos seres vivos*, esto no implica una “reducción” a un mundo de autómatas vacíos y exodeterminados que

necesariamente niega nuestras cualidades más preciadas: los seres vivos, de acuerdo con la teoría de la autopoiesis, exhiben todos una autonomía fundamental (lo que en el caso humano se plantea tradicionalmente como “libre albedrío”), la facultad cognoscitiva es inherente a la autopoiesis y —agrego yo— la autopoiesis también puede entenderse como expresión de una intencionalidad elemental (ni la cognición ni la intencionalidad son exclusivamente humanas). Partiendo de estos revolucionarios postulados, Maturana y Varela presentan una historia de cómo la facultad cognoscitiva adquirió la forma particular que caracteriza a nuestra especie (sin constituir una excepción en el mundo natural).

Como observará el lector, el recuento presentado recordará inmediatamente los relatos convencionales de la evolución biológica como progreso lineal, que va de los unicelulares a los pluricelulares, de los gusanos a los peces, a los reptiles, a los mamíferos, etcétera... relato del cual me he separado en el capítulo anterior. Es preciso insistir en que lo que presentaré a continuación es *la historia de nuestra especie*. Por eso la incluyo en este capítulo y no en el anterior, porque no representa una tendencia universal en la evolución biológica (principio antrópico) sino nada más que uno de los millones de caminos distintos que, en su permanente impulso hacia la diversificación, ha tomado la vida. Podemos tomar cualquier especie —un colibrí, un pulpo, una conífera— y contar su historia. El resultado será un recuento de su filogenia que tendrá apariencia lineal, pero esto solo es así dado que hemos asumido la tarea de rastrear (de adelante hacia atrás) la historia de *una* especie. Al relatar dicho recuento de atrás hacia adelante, corremos el riesgo de dar una impresión de progreso lineal y necesario. Es legítimo y útil hacer este tipo de recuentos linealizados, siempre y cuando se recuerde que no expresan una tendencia general de la evolución biológica, ninguna direccionalidad que por alguna ley natural la vida necesariamente haya tenido que tomar.

3.1.1. La insospechada aparición del cerebro

Como preámbulo para hablar del manejo de herramientas, el control del fuego y el arte ritual, el incremento del volumen craneal es el eje principal sobre el cual se construyen convencionalmente los recuentos de la historia de nuestra especie, incluyendo hipótesis accesorias sobre la evolución del bipedismo, el pulgar oponible, la pérdida de pelo corporal, la evolución de las cuerdas vocales, etc. No hay duda de que esas características —que nos distinguen de otras especies filogenéticamente muy cercanas— son relevantes en nuestra historia, pero rara vez se llama la atención sobre otras igualmente relevantes. Observamos rasgos comunes con otras especies y damos por sentado su existencia como si fueran atributos necesarios que no pudieron evolucionar de otra manera. Como dejan claro Sagan y Margulis, esto no es así: una sorprendente historia llena de accidentes, contingencias y consecuencias imprevistas ha ido configurando las características más básicas y fundamentales de nuestro ser.

Sería demasiado largo reproducir aquí los detalles de las primeras etapas de dicha historia, pero la forma particular en que se originaron las eucariotas —células con núcleo— y la forma particular en que evolucionaron sus primeros descendientes pluricelulares —de donde derivarían mucho después todos los animales, plantas y hongos— explica el vínculo contingente pero imborrable entre sexualidad (con división entre organismos “machos” y “hembras”) y muerte programada. ¿Seríamos los mismos si no hubiera entre nosotros distinción de sexo? ¿Cómo serían nuestras vidas sin la necesidad de una pareja heterosexual para la reproducción? ¿Seríamos los mismos si nuestro ciclo vital no terminara por envejecimiento? ¿Cómo sería nuestra vida sin “muerte natural”? Ni la reproducción sexual ni el “envejecimiento” y “muerte natural” existen entre las bacterias, quienes se reproducen por bipartición, intercambian genes horizontalmente y, aunque pueden ser matadas, en condiciones adecuadas se reproducen indefinidamente. Ante la incapacidad de seguir intercambiando genes de manera horizontal por la presencia del núcleo (que guarda en su interior el ADN), algunos organismos desarrollaron la división por meiosis y la reproducción

sexual hace 1500 millones de años. El hecho de que el ciclo vital de los animales (colonias de protistas) concluya inevitablemente en una muerte programada (si es que no hubo otras causas accidentales) es un resultado *contingente* del proceso (ver Margulis y Sagan 2009: 73, 90, 110, 122-123).

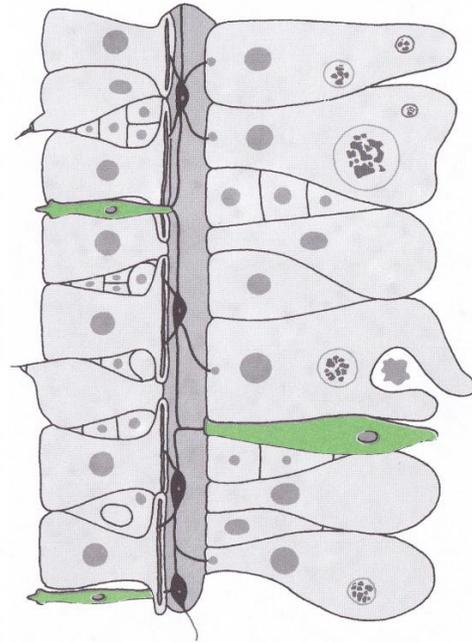
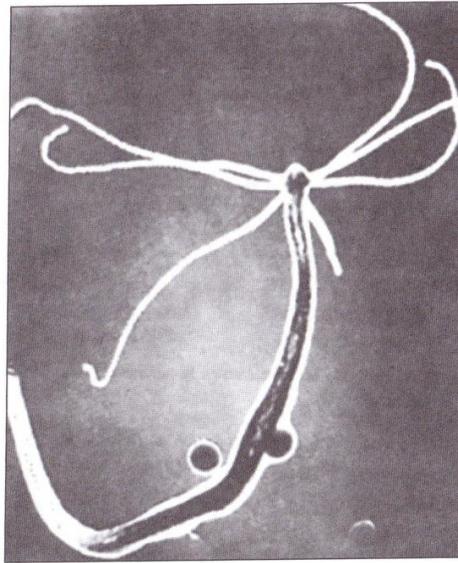
Las células de nuestros cuerpos animales están en una fase diploide, es decir, con cromosomas duplicados, excepto ovocélulas y espermatozoides, que están en fase haploide, es decir, con una sola copia de cada cromosoma. Cada cuerpo animal es una especie de cáscara diploide, mórbidamente desechada por las células sexuales haploides que se las arreglan para producir en cada generación un cuerpo fresco y continuar más allá de la muerte “individual”. El cuerpo diploide paga el precio final —la muerte— por la transmisión de las células sexuales haploides. (Margulis y Sagan 2009:114)

Todos los animales comparten el mismo ciclo vital: el huevo fecundado comienza a clonarse a sí mismo, las células “hijas” no se separan sino que permanecen juntas formando una bola y, aunque todas comparten el mismo genoma, comenzarán a dividirse en tipos morfológicos distintos. La división celular continúa hasta formar una esfera hueca o “blástula” (en esto se diferencian de las plantas que en esta fase embrionaria son una masa sólida). Las células de la blástula continúan dividiéndose y de una esfera hueca pasan a formar un tubo dentro de otro tubo. La ruptura de simetría en este punto ya configura un organismo para el que existe un adelante y un atrás: uno de los extremos del tubo digestivo será la boca y el otro será el ano, entre ambos se forma el estómago. “Formado mediante comunicaciones celulares vía uniones de hendidura o septos junto con sinapsis neuronales, el tubo o intestino inaugura la nutrición ingestiva casi universal en el reino animal”. (Margulis y Sagan 2009:126)

El hecho de que los animales sean organismos heterótrofos tendrá una consecuencia tan importante como insospechada. Las plantas desarrollan su autopoiesis recurriendo a la fotosíntesis, en condiciones en las que tienen acceso a un aporte local constante de agua y nutrientes en el suelo y gases y luz en la

atmósfera, lo que les permite una forma de vida en la que el desplazamiento está prácticamente ausente. Si bien hay casos de animales que, aunque descendientes de ancestros mótils, han adoptado una condición sésil en situaciones en que pueden obtener su nutrición sin necesidad de movimiento, lo más común es que la condición de heterótrofo impulse a los organismos a buscar activamente su alimento desplazándose por el ambiente. El imperativo de conseguir su alimento implica, en los heterótrofos, una afinada coordinación senso-motora, es decir, un acoplamiento funcional entre superficies “sensoriales” y dispositivos de locomoción, de manera que el mantenimiento de una correlación interna entre ambos resulte en lo que un observador describirá como la “conducta exitosa” de ubicar y desplazarse hasta las fuentes de alimento. Como en el caso de la bacteria fermentadora que se desplaza con su flagelo hasta llegar al grano de azúcar (ver 2.1.2), esta correlación interna en acoplamiento estructural con el ambiente del organismo constituye su forma particular de cognición. (La conducta de las plantas también responde activamente a cambios de su ambiente, también es cognoscitiva y expresa acoplamiento estructural) (Maturana y Varela 1984: 99-101)

Lo que sucede en el caso de animales pluricelulares es muy interesante. Maturana y Varela presentan como ejemplo una hidra, unos animales muy simples formados por una doble capa de células (para simplificar piénsese en un tubo dentro de otro tubo) y unos tentáculos en el borde que permiten al animal llevar a sus presas al interior para digerirlas. Entre las células que forman el tubo se encuentran unos cuantos tipos distintos de células. Hay algunas que secretan líquidos digestivos. Otras poseen fibrillas contráctiles dispuestas longitudinal y radialmente entre las dos capas de células del animal, las cuales generan la totalidad de los movimientos posibles para el organismo. Como es evidente, debe haber alguna forma en que se coordine la acción de, por ejemplo, las células que mueven los tentáculos y las que generan el líquido digestivo. Aquí es donde participa otro tipo de células con prolongaciones alargadas que ponen en contacto elementos distantes en el cuerpo del organismo:



Fotografía de una Hidra y esquema de su diversidad celular con las neuronas resaltadas. (Maturana y Varela 1984: 102-103)

Estas células son células nerviosas o *neuronas* en su forma más simple y primitiva. La hidra posee una de las formas más simplificadas que se conocen del sistema nervioso, que se constituye como una red que incluye a esta clase particular de células, así como a receptores y efectores. En total, este sistema nervioso de la hidra aparece como una verdadera maraña de interconexiones que se extienden a todos los lugares del animal vía el espacio entre las células, y de esa manera trae a interactuar los elementos sensoriales y motores que se encuentran distantes.

Así tenemos completa, en todos sus detalles, la misma situación que se tenía en el caso de la conducta celular. Una superficie sensora (en este caso células sensoriales), una superficie motora (en este caso, células musculares y secretoras) y vías de interconexión entre ambas superficies (la red neuronal). Y la conducta de la hidra (alimentación, huida, reproducción, etc.) resulta de las distintas maneras como estas dos

superficies, sensora y motora, se relacionan dinámicamente entre sí, vía la red interneuronal al integrar en conjunto el sistema nervioso. (Maturana y Varela 1984:103)

Así pues, el sistema nervioso aparece como una solución para la continuidad del acoplamiento senso-motor en el paso de los heterótrofos unicelulares a los pluricelulares, un momento fascinante en la evolución de los animales dentro de la larga historia natural del movimiento en busca de alimento (materia y energía).

Esta arquitectura fundamental del sistema nervioso es universal y válida no sólo para la hidra, sino también para los vertebrados superiores, incluido el hombre [*sic*]. La única diferencia está no en la organización fundamental de la red generadora de correlaciones sensomotoras, sino en la forma como esta red se implementa mediante neuronas y conexiones que varían de una especie animal a otra. (Maturana y Varela 1984:105)

Como ya expuse, desde la perspectiva de estos autores, la cognición es una cualidad propia de *todos* los seres vivos, no es una propiedad exclusiva de aquellos que cuentan con un cerebro o un sistema nervioso. El sistema nervioso no inaugura ni la cognición, ni la conducta en los seres vivos, pero sí los *expande* enormemente.

Como acabo de explicar, cada conducta de un organismo corresponde a un cierto patrón de actividad de su sistema nervioso. Así, sistemas nerviosos con mayor número de neuronas y mayor número de conexiones permiten repertorios conductuales más amplios: conforme la red neuronal que establece las correlaciones sensomotoras en el organismo se hace más compleja, extensa e imbricada, se incrementa la cantidad de estados posibles para el sistema, con lo que se amplían enormemente los repertorios conductuales del organismo. Así se entiende por qué, entre las neuronas motoras y las sensoriales, algunos organismos acumulan núcleos de gran cantidad de neuronas interconectadas. El cerebro humano es como un gigantesco tumor que concentra unas cien mil millones de interneuronas, situadas entre algunas decenas de millones de células sensoriales y cerca de un millón de motoneuronas que activan unos pocos miles

de músculos. La diversidad de patrones de coordinación senso-motora que permiten las interconexiones neuronales (que van de puntos específicos a puntos específicos, y pueden mandar mensajes cruzados sin interferir unas con otras) es mucho mayor que lo que es posible, por ejemplo, cuando la coordinación se da mediante la circulación general de los humores internos del organismo (por ejemplo en la sangre), lo cual afecta indiscriminadamente a un gran conjunto de células simultáneamente. Además, la descarga químico-eléctrica de las neuronas es mucho más rápida que el flujo de sustancias a través de los espacios intercelulares.

Además de ampliar los repertorios conductuales del organismo, el sistema nervioso se caracteriza por una enorme plasticidad. Para entender exactamente qué significa esta “plasticidad” pensemos nuevamente en el desarrollo del organismo a partir del huevo fecundado. Resulta prodigioso observar la manera en que, teniendo todas el mismo código genético, las células que resultan de la multiplicación del huevo fecundado se van diversificando en distintos tipos celulares, atraviesan complicados procesos de articulación para ir formando órganos especializados que, finalmente, ensamblan un organismo pluricelular funcional, con toda su complejidad. Entender la manera exacta en que se da este proceso es todavía un desafío para la ciencia.

Supongamos que observamos el desarrollo de 500 huevos fecundados de la misma madre hasta convertirse en organismos funcionales. Podremos notar que aunque todos son de la misma especie y, por lo tanto, siguen en términos generales una pauta común, habrá sutiles diferencias en el desarrollo particular de ciertos embriones. Suponiendo que todos llegan exitosamente al estado adulto, los 500 organismos compartirán la mayoría de las características (en términos tanto morfológicos, como fisiológicos, de patrones conductuales, etc) por ser miembros de la misma especie. Sin embargo, habrá algunas características que varían entre ellos. Si observamos que, en idénticas circunstancias, dos embriones desarrollan ciertas características distintas, supondremos que existe alguna diferencia “genética” entre ellos que es responsable de la divergencia observada. También podemos encontrar alguna correlación entre cierta perturbación que pueda ocurrir

durante el desarrollo embrionario (por ejemplo un cambio de temperatura, una carencia de cierto nutriente, etc.) y cierta divergencia en el desarrollo de los organismos. Por ejemplo, puede que el cambio de temperatura influya en la especificación del sexo de los organismos (si es más caliente salgan machos y si es más frío hembras, por decir algo) o puede que con cierta carencia de nutrientes determinados órganos no se desarrollen correctamente o el tamaño final del organismo sea más reducido. En estos casos, no diremos que la diferencia observada no está “genéticamente determinada”, sino que es resultado de la historia particular del embrión en cuestión. Cuando se dice que algo está “genéticamente determinado” en general se trata de señalar que dicha característica es resultado de la herencia filogenética, es decir, que su aparición no depende de la historia del organismo individual (su ontogenia) sino de la historia de su linaje evolutivo (su filogenia). Hoy sabemos que el ADN del núcleo no es el controlador absoluto del proceso, como se pensaba hace unas décadas: cada vez recibe más atención el papel de mecanismos hereditarios epigenéticos (proteínas heredadas directamente de la membrana y el citoplasma del óvulo, por ejemplo). Por lo tanto, la expresión “genéticamente determinado” no siempre es rigurosamente correcta.

La distinción importante aquí es entre las características filogenéticamente determinadas y las que son ontogenéticamente especificadas. Cada vez que, en los organismos de una misma especie, se desarrollan ciertas características *con independencia* de las peculiaridades de sus historias individuales, decimos que tales características han sido filogenéticamente especificadas. Por el contrario, si determinadas características se desarrollan sólo si los individuos atraviesan una historia particular de interacciones, se dice que tales características son ontogenéticamente especificadas. En el momento presente de un organismo, ambos tipos de configuraciones estructurales (filo- u onto-genéticamente especificadas) son indistinguibles, lo que las distingue es la historia que las ha hecho posibles. Nuestra capacidad para distinguirlas depende, pues, de que tengamos acceso a tal historia. (Maturana y Varela, 1984: 114-115).

Ahora bien, como ya expuse, cada conducta en el repertorio conductual de un organismo, es hecha posible por el desarrollo específico de ciertas estructuras. Para que un organismo pueda realizar cierta conducta que es propia de su especie, es necesario que cuente con ciertas estructuras corporales que hacen posible dicha conducta. En el caso de los animales con sistema nervioso, la estructura básica de las neuronas y sus interconexiones será compartida por todos los miembros de una especie, y esta estructura básica permitirá el desarrollo de ciertas conductas que son comunes a todos los miembros de la especie. Así, el repertorio conductual de un organismo depende, en parte, de su historia filogenética. Si observamos que todos los organismos de una especie terminan realizando cierta conducta (en ciertas situaciones específicas), diremos que el desarrollo de esa conducta está filogenéticamente determinado. En términos más comunes, decimos que se trata de conductas “innatas” o a veces “instintivas”. En cambio, algunas conductas aparecerán debido a particularidades del desarrollo individual, del organismo. Éstas serán conductas ontogenéticamente especificadas.

La plasticidad de un organismo es el grado en que su estructura y su repertorio conductual puede ser modificado por su historia individual (ontogenética). Las características de todo organismo se encuentran en un *continuum* entre lo variable y lo permanente, siendo algunas de ellas relativamente más variables y otras más permanentes. Hasta la bacteria más simple tiene cierto grado de plasticidad: su historia de interacciones con el ambiente deja cierta huella en su estructura. El estado presente de todo organismo es, en parte, resultado de su historia (ontogenética) de interacciones con el ambiente. Cada organismo tendrá algunas características que tienen muy poca o nula plasticidad, son bastante inmutables, permanentes y comunes a todos los miembros de su especie (las características filogenéticamente especificadas), y algunas otras características que tienen mayor plasticidad, pueden variar más y por lo tanto dependen más de la historia ontogenética.

Plantear una oposición radical entre conductas “genéticamente determinadas”, como se suele decir, y las conductas aprendidas (genes VS

memes) es una simplificación errada. La distinción correcta es entre aspectos filogenéticamente determinados (que pueden transmitirse vía herencia genética y epigenética) y aspectos ontogenéticamente especificados (que, como veremos a continuación, también pueden adquirir continuidad transgeneracional mediante otras formas de herencia). Toda plasticidad, toda capacidad de aprendizaje está basada en características orgánicas filogenéticamente determinadas (como la estructura básica de las neuronas), depende de la existencia de estas características relativamente invariables. Y por otro lado, como ya dije, incluso las características relativamente más invariables pueden ser afectadas y moduladas en función de la experiencia individual del organismo. Así, deberíamos pensar, más bien, en un *continuum* entre características más y menos plásticas, más o menos invariables, más o menos susceptibles a modificarse con la experiencia ontogenética.

La presencia de un sistema nervioso incrementa enormemente la plasticidad de un organismo. Cuando un organismo modifica sus patrones conductuales como resultado de su experiencia individual (como resultado de su historia ontogenética de interacción con el ambiente), a veces decimos que “desarrolló una conducta aprendida”, por oposición a las conductas “innatas”. Por esta razón, asociamos normalmente la capacidad de aprendizaje con la presencia de sistemas nerviosos. (En realidad, la conducta que incluso el más simple de los unicelulares realiza en cada momento presente resulta, en cierta medida, de su historia ontogenética, pero no en todos los casos lo llamaríamos “aprendizaje”.)

La plasticidad del sistema nervioso está en que las neuronas no están conectadas como si fueran cables con sus convenientes enchufes. Los puntos de interacciones entre las células son delicados equilibrios dinámicos, modulados por un sinnúmero de elementos que gatillan cambios estructurales locales, y que se producen como resultado de la actividad de esas mismas células y de otras células cuyos productos viajan por el torrente sanguíneo y bañan a las neuronas, todo como parte de la dinámica de interacción del organismo en su medio. (Maturana y Varela 1984:112-113)

Momento a momento, cada experiencia modifica el estado de conectividad de nuestro sistema nervioso, aunque los cambios no sean siempre visibles. La presencia de un sistema nervioso amplifica exponencialmente el potencial plástico de los seres vivos —su capacidad de “aprendizaje”—, ampliando de manera radical su adaptabilidad cognoscitiva y sus repertorios conductuales. Contrario a lo que se suele escuchar, el papel del sistema nervioso no es “captar información” del medio, sino que —dado que cada experiencia modifica las características de conectividad de las redes neuronales— su continua transformación le permite permanecer congruente con las transformaciones del medio circundante (mantener el acoplamiento estructural). Esto expande el potencial de acción efectiva de un organismo en circunstancias cambiantes.

Como expuse en el Capítulo 2, el mundo aparecerá de formas distintas para cada organismo dependiendo de sus características corporales. De esta manera, resulta fascinante pensar en la evolución de la vida no sólo como el proceso en el que ha surgido toda la diversidad de formas corporales y características metabólicas particulares de cada especie, sino también como el proceso en el que han surgido los “mundos experienciales” particulares de cada especie. La historia particular de coevolución entre flores e insectos polinizadores ha coloreado el mundo experiencial de estos organismos: su forma particular de vida hace necesarias ciertas distinciones sensoriales (con sus correspondientes patrones conductuales asociados) que serán inexistentes para otros organismos: nosotros no podemos percibir los rayos ultravioleta. Para la planta, a pesar de que su forma de vida sin movimiento implica menores requerimientos en términos de correlaciones sensomotoras, distinguir entre el día y la noche (y activar distintos procesos metabólicos en cada momento), distinguir entre momentos apropiados para invertir energía en la reproducción (primavera) o en los que es necesario almacenar y racionar energía para sobrevivir (invierno) implica igualmente ciertas distinciones sensoriales que configuran el mundo experiencial de la planta. Imaginar cómo aparece el mundo para un murciélago, un topo o un perro —que, aunque son todos mamíferos, han evolucionado para depender de manera distinta en los sentidos de la vista, el olfato o el oído— nos hace recordar que el mundo

aparece para nosotros de cierto modo gracias a nuestras características particulares, y que dichas características han aparecido gracias a una historia particular de nuestro linaje filogenético. Siendo que cada especie comparte ciertas características corporales de manera relativamente fija e invariable, podemos afirmar que el mundo experiencial de los organismos de una misma especie tendrá ciertas características compartidas de manera igualmente fija e invariable (relativamente). Si pensamos en la bacteria fermentadora que busca el grano de azúcar, será claro que su mundo experiencial puede cambiar dentro de límites bastante acotados: podrá reconocer cambios en la concentración de azúcar (hoy el grano de azúcar está en una esquina del contenedor, mañana estará en otra), en la temperatura u otros elementos relevantes de su ambiente natural gracias a los dispositivos sensoriales que posee su membrana celular, los cuales le han sido heredados.

En el caso de los organismos con sistema nervioso, lo que observamos es que el mundo experiencial de estos organismos se vuelve mucho más plástico y susceptible de modificarse con la experiencia individual (ontogenética). Una experiencia dolorosa (el encuentro con una planta espinosa o una presa venenosa) modificará los patrones de correlación sensorial y modificará el mundo experiencial del organismo, que tiene la capacidad de aprender a evitar la situación en cuestión. Esto será especialmente útil para organismos que pueden moverse entre ambientes distintos o para adaptarse a cambios en sus ecosistemas locales (como la invasión de otro organismo). Sin embargo, esa plasticidad ocurre sobre la base de un amplio conjunto de características que son relativamente fijas e invariables, sin las cuales no habría nada que modificar con la experiencia. En el largo proceso de la deriva filogenética, el proceso de la evolución ha actuado como si fuera un proceso de “selección natural”, en donde aquellas características que configuran “realidades” experienciales que corresponden con los aspectos relevantes del entorno de cada ser vivo tienden a permanecer y reproducirse, mientras que aquellas otras con las que dicha adaptación se rompe tienden a desaparecer. Y como hemos visto, muchas de esas características que hacen que nuestra “realidad” experiencial (al menos en

sus aspectos fundamentales) corresponda con el medio son innatas —independientes de nuestra historia ontogenética— por lo que podemos pensar que gran parte de esa correspondencia será *fija*.

Algunas de esas características son tan fijas e invariables que podemos tratarlas como si fueran características inherentes del mundo: los árboles son verdes, las cerezas son rojas. Sin embargo, es claro que ni si quiera propiedades tan fundamentales como esa son inherentes al mundo con independencia del observador. Sólo para un organismo cuyas características corporales generan las distinciones sensoriales referidas (entre el rojo y el verde, por ejemplo) existirá un mundo con dichas “propiedades”. Se trata de propiedades del mundo experiencial del organismo, y no del mundo “material” en sí mismo. Si no existieran los organismos que distinguen entre rojo y verde, no hay nada en los árboles o en las cerezas que sea *en sí mismo* ni rojo ni verde. Así, el marco de Maturana y Varela presenta una visión de la cognición construccionista pero no solipsista, desde la cual podemos decir que, si bien la “realidad” experiencial es construida y relativa, la sobrevivencia del organismo requiere de un necesario *acoplamiento* entre la “realidad” experiencial que sus propias características configuran, y la Realidad material en la que se desarrolla (acoplamiento estructural con el medio, adaptación). Al hablar de ese “margen de compatibilidad” dentro del cual los seres vivos existen con adaptación al medio, y fuera del cual tienden a desintegrarse en tanto que individuos y a desaparecer en tanto que linajes, estamos en efecto hablando de un tipo de *correspondencia*, pero argumentando que esto no necesariamente implica adoptar una postura de realismo epistemológico como se hace en el paradigma representacionista.

Veámoslo en el ejemplo típico para explicar la idea de correspondencia: tradicionalmente se dice que la proposición “la nieve es blanca” es verdadera si la nieve es blanca, es decir, si el “ser blanco” es un atributo intrínseco y absoluto de la nieve. Pues bien, la experiencia que tenemos del color blanco —un buen ejemplo de aquellos “aspectos básicos” de nuestra “realidad” experiencial— es, en definitiva, una construcción biológica totalmente extrínseca a “la cosa en sí” (en este caso la nieve). Sin la existencia de aquellos seres vivos-cognoscentes cuyas

características constitutivas construyen la experiencia del blanco la nieve no “sería” blanca en absoluto: nada de *nuestra experiencia* del blanco existe como parte de la nieve en sí misma. Y sin embargo, en la medida en que nuestra experiencia de los colores *corresponda* con (lo que podemos suponer que son) ciertas características intrínsecas de la Realidad material, nuestra experiencia perceptual (construida) nos permitirá mantener una efectividad operacional⁵⁹. En el caso de los organismos con sistema nervioso, la plasticidad implica que, por ejemplo, al entrar en un ecosistema nuevo, un organismo puede aprender a distinguir entre dos cerezas igualmente rojas (que le aparecen como “rojas” dadas sus características corporales heredadas filogenéticamente), pero con una forma ligeramente distinta, reconociendo una variedad comestible de otra que sea tóxica.

La riqueza plástica del sistema nervioso no está en que guarde representaciones “engramas” de las cosas del mundo, sino que en su continua transformación permanece congruente con las transformaciones del medio como resultado de que cada interacción lo afecta. Desde el punto de vista del observador, eso se ve como aprendizaje adecuado. Lo que está ocurriendo, sin embargo, es que las neuronas, el organismo que integran, y el medio en que éste interactúa, operan recíprocamente como selectores de sus correspondientes cambios estructurales, y se acoplan estructuralmente entre sí: el operar del organismo, incluyendo su sistema nervioso, selecciona los cambios estructurales que le permiten seguir operando, o se desintegra. (Maturana y Varela 1984:113-114)

Como observadores externos⁶⁰, evaluaremos facultad cognoscitiva de un organismo en función de su efectividad para cumplir los objetivos biológicos que reconocemos como motivación de su acción (mantener la continuidad de la

⁵⁹ Sobre este punto, véanse los interesantes estudios de Humberto Maturana sobre la percepción de los colores, investigaciones en donde se topa con los problemas básicos que dan origen al desarrollo de todo su modelo teórico.

⁶⁰ No podemos observar a ningún organismo desde la “perspectiva de Dios” o desde ninguna perspectiva completamente objetiva, pero podemos observarlos desde nuestra perspectiva humana.

autopoiesis, mantener la continuidad reproductiva del linaje, etc.). En el ejemplo de la bacteria fermentadora que busca el grano de azúcar, calificaremos como “exitosa” a aquella que efectivamente llegue al grano y se alimente, y observaremos como “inadaptada” a aquella que se queda en una esquina “equivocada” y muere de hambre. En algunos casos, la coordinación sensomotora responsable del éxito o fracaso de la conducta puede estar filogenéticamente determinada y ser bastante inflexible. En estos casos, la cognición no incluye aprendizaje. En otros, puede haber mayor plasticidad y —como en el caso de los animales con sistema nervioso— observaremos organismos que modifican sus patrones conductuales de maneras más o menos “exitosas”. En función de eso calificaremos ciertos procesos de modificación estructural-conductual ontogenética como “aprendizaje adaptativo”. La idea de “plasticidad” es neutral, en sí misma no implica un juicio sobre la efectividad, sólo señala una capacidad de modificación a partir de la experiencia ontogenética. La conducta “aprendida” puede resultar beneficiosa o perjudicial para el organismo en cuestión.

Quienes afirman que en la evolución biológica hay una direccionalidad que apunta hacia el surgimiento de organismos cada vez más complejos, con sistemas nerviosos cada vez mayores, con capacidades de aprendizaje cada vez mayores, generalmente consideran que la plasticidad siempre tiene resultados adaptativos (o casi siempre). Se supondría que la selección natural siempre favorecerá a los organismos con cerebros más grandes, por lo que observaremos un aumento gradual de la capacidad de aprendizaje. Lo que observamos en el mundo real no coincide con estos supuestos. El hecho de que organismos como la hidra, con un sistema nervioso tan simple, no hayan evolucionado hacia sistemas nerviosos más complejos durante millones de años, muestra que la selección no busca siempre “maximizar la plasticidad” (para lo cual habría que incrementar la complejidad del sistema nervioso). Un sistema nervioso que permite a un organismo moverse y comer está cumpliendo ya cabalmente su función básica: no es necesario desarrollar tecnología espacial para esto. Y en efecto hay ejemplos de organismos cuya historia filogenética incluye simplificación y hasta pérdida de cerebros. Si un organismo es capaz de cumplir sus objetivos biológicos sin necesidad de mayor

complejidad, sin necesidad de gran capacidad de aprendizaje, su forma de vida puede mantenerse estable por millones de años. La simplicidad también tiene sus ventajas.

3.1.2. La improbable suerte de los mamíferos

La idea de que la evolución avanza siempre hacia una creciente complejidad orgánica no es sostenible. Decir que los organismos más complejos, con sistemas nerviosos más complejos, serán *siempre* “más aptos” para la supervivencia y, por lo tanto, se ganarán por mérito propio una progresiva supremacía sobre los más simples, tampoco es sostenible. Decir esto no es negar que la capacidad de aprendizaje pueda otorgar ventajas *en ciertas circunstancias*. La cuestión crucial es reconocer que no se trata de una direccionalidad universal.

Además de que no siempre es necesaria, la evolución hacia formas más complejas no siempre es posible. Los primeros animales evolucionaron cuando ya había transcurrido nada menos que el ochenta por ciento de la historia de la vida en el planeta. Si sólo requerían de su mérito propio para lograrlo, ¿por qué esperaron tanto? Posiblemente, la aparición de los animales pluricelulares (notablemente más complejos que los unicelulares) tuvo que esperar hasta que se presentaran circunstancias ambientales favorables. Este notable incremento de complejidad orgánica probablemente dependió de una cadena de acontecimientos contingentes y de consecuencias no previstas: sólo cuando hubo suficiente oxígeno atmosférico en combinación con células eucariotas capaces de realizar respiración aeróbica, evolucionaron los animales pluricelulares (Margulis y Sagan 2009:132). Desde una perspectiva termodinámica, esto tiene sentido si consideramos que la respiración aeróbica incrementó la eficiencia energética de los organismos (multiplicando la producción de ATP para almacenar energía). Organismos más complejos tienen mayores requerimientos energéticos. Sin embargo, para que esto fuera posible, fue necesario que las primitivas bacterias fotosintetizadoras llenaran el mundo de un gas venenoso ocasionando la extinción

de la mayoría de las formas de vida precedentes, hasta que, por razones completamente independientes al desarrollo posterior de la vida compleja (no fue ninguna “preparación”), algunos organismos adquirieran la capacidad de aprovechar dicho gas. Sin la catástrofe del oxígeno que vació el planeta de todo un mundo de vida probablemente nunca hubiera evolucionado la vida pluricelular compleja. La asociación simbiótica que dio origen a las mitocondrias, gracias a las cuales las eucariotas pueden respirar, tampoco se produjo con el *propósito* de que, en el futuro lejano, dichas células pudieran evolucionar hacia formas más complejas: se produjo por razones que incumbían las necesidades presentes de los simbioses. Si las protomitocondrias, que originalmente eran parásitos destructivos, no hubieran encontrado útil establecer una asociación de beneficio mutuo con la célula que atacaban, la biosfera bacteriana podría haber pasado tranquilamente otros miles de millones de años sin aparición de animales pluricelulares, y nosotros no estaríamos aquí. Y, evidentemente, si por alguna razón la biosfera bacteriana dejara de producir el oxígeno atmosférico en la proporción necesaria, los animales complejos desaparecerían inmediatamente. Dependemos de la continuidad de un ecosistema global finamente ajustado para estar aquí.

Como reflexiona Gould: los cosmólogos nos dicen que el Sol está actualmente a medio camino de su ciclo vital, dentro de unos 5,000 millones de años expandirá su diámetro hasta la órbita de Júpiter absorbiendo en el camino a nuestro pequeño planeta; incluso suponiendo que la misma pauta de evolución hacia pluricelulares complejos se hubiera dado en cuanto hubiera las condiciones adecuadas, ¿qué pasaría si en vez de tardar 2,000 millones de años, por alguna contingencia histórica, dichas condiciones hubieran tardado 12,000 millones de años en darse? La Tierra se habría incinerado antes de que la vida de los organismos pluricelulares complejos fuera posible y los estromatolitos habrían sido “los más evolucionados testigos mudos del Armagedón”. (Gould 2009: 393-394)

Los primeros animales pluricelulares que aparecieron en los océanos tenían cuerpos blandos y gelatinosos. Liberaban el exceso de calcio (residuo material de su metabolismo celular) en el agua del mar.

Pero hacia el comienzo del periodo Cámbrico en el eón Fanerozoico, algunos comenzaron a controlar su eliminación de calcio. En su evolución, los primeros animales convirtieron acumulaciones potencialmente amenazadores en arquitectura viva [...] A medida que surgían las armaduras en algunas criaturas cámbricas, otras desarrollaban dientes y apéndices incisivos para penetrarlas. (Margulis y Sagan 2009:134)

Si estos animales primigenios no hubieran encontrado la manera de convertir un desecho en algo biológicamente útil, no habrían evolucionado los animales con esqueleto y el ser humano jamás habría caminado erguido sobre la Tierra.

Los famosos fósiles de Burgess Shale son el único registro existente de esa fauna marina primordial de cuerpo blando. Entre la fauna de Burgess Shale hay muchos tipos de artrópodos cámbricos que se extinguieron en aquel momento. Sólo uno de los artrópodos ahí registrados tuvo descendientes, y de ahí surgió el inmenso abanico de criaturas con seis patas que constituye el mundo de los insectos. Pero el espécimen que más nos incumbe es *Pikaia*, el primer miembro conocido de los cordados, posible ancestro de todos los animales con columna vertebral, incluidos todos los peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos y los humanos. Como argumenta Stephen Jay Gould, si observáramos aquella diversidad de organismos en su ambiente, hace 530 millones de años, y tuviéramos que preguntarnos cuáles de ellos sobrevivirían, no tendríamos ninguna base sólida para seleccionar a algunos y descartar a otros. No sabemos cómo fue el proceso de selección, pero muy probablemente influyeron factores contingentes —las extinciones masivas suelen tener causas accidentales, imprevistas, que no necesariamente tienen que ver con una mayor o menor aptitud de unos u otros—. Por mucho que desde el futuro queramos echarle porras a nuestro ancestro *Pikaia*, se trata de un humilde ser con aspecto de pequeño gusano (de unos 6 cm) que no da muestras de tener aspiraciones de grandeza y probablemente nadie hubiera apostado por él. Si por alguna contingencia histórica hubieran sido otros los especímenes de Burgess Shale elegidos para sobrevivir, estos dos enormes grupos de seres vivos que hoy dominan la vida pluricelular del planeta —insectos y vertebrados— habrían terminado mucho antes de comenzar. En todo caso, para

un observador de aquella época, la desaparición de ese humilde gusano no hubiera representado una gran tragedia. (Gould 2009; Margulis y Sagan 2009:132)

Por alguna razón que no tuvo nada que ver con nuestra futura aparición, *Pikaia* sobrevivió. Posteriormente, el grupo de los cordados se diversificó en una gran cantidad de seres, incluyendo muchos tipos distintos de peces. Es verdad que a partir de uno de estos peces evolucionaría toda la gama de animales con patas que conquistarían el mundo de los continentes emergidos. Sin embargo, las aletas de la inmensa mayoría de los peces que existían en aquel tiempo hubieran sido totalmente inútiles para esto. (Los pocos peces modernos que se mueven por la tierra, como el *Periophthalmus* o “saltarín del fango”, lo hacen impulsándose con el cuerpo y no caminando sobre sus débiles aletas.)

Los vertebrados terrestres pudieron surgir porque a un grupo relativamente pequeño de peces [...] se le desarrolló por evolución, por sus propias razones inmediatas, un tipo de esqueleto de las extremidades completamente distinto, con un fuerte eje central perpendicular al cuerpo y numerosas ramas laterales irradiando de este foco común. Una estructura con este diseño pudo evolucionar hasta una extremidad terrestre capaz de sustentar peso, con el eje central convertido en los huesos principales de nuestros brazos y piernas, y las ramas laterales formando los dedos. Esta estructura de la aleta no evolucionó por la futura flexibilidad que permitiría la vida posterior de los mamíferos. (Gould 2009:402)

Si observáramos la diversidad de peces de ese tiempo, como imagina Gould, sin saber lo que sucedería después, ¿quién hubiera señalado a estos peces tan poco comunes como la vanguardia de la evolución? La historia de sus extrañas aletas nada tiene que ver con el impresionante éxito de sus lejanos descendientes en un ambiente tan radicalmente diferente (Gould 2009:492-493).

Los animales son heterótrofos. Para vivir, en cualquier ambiente, necesitan de ecosistemas productores de biomasa comestible. Animales simples y pequeños requieren cantidades pequeñas de alimento para sobrevivir. Si queremos que haya animales grandes y complejos, necesitamos ecosistemas altamente

productivos que los sostengan. Los primeros organismos que colonizaron las tierras emergidas eran unicelulares, por millones de años, la única estructura viviente visible a nuestra escala en los vastos paisajes de nuestro mundo terrestre eran los tapetes microbianos. Los animales se mantuvieron en el mar hasta que plantas y hongos aparecieron sobre la faz de la tierra y crearon ecosistemas más productivos sobre los continentes.

Nos maravillamos al ver el tamaño de las enormes fauces del *Tyrannosaurus Rex* mientras las plantas y hongos nos parecen lo más aburrido sobre el planeta. Lo cierto es que sin estos últimos, la red trófica que permitió la existencia de depredadores como el primero jamás habría existido. En realidad, la historia de las plantas está llena de innovaciones fascinantes sin las cuales no estaríamos aquí. Las primeras plantas eran probablemente como los actuales briófitos, como el musgo, las primeras plantas que pudieron sobrevivir fuera del agua (a diferencia de las algas). Los briófitos modernos no tienen raíces que penetren en el suelo, requieren de superficies con suficiente humedad. (Margulis y Sagan 2009:166-167) Los briófitos nunca desarrollaron un soporte estructural y nunca han crecido en altura más allá de unos pocos centímetros.

Una forma que quizá sea uno de los representantes más primitivos del reino de las plantas sobrevive aún hoy. Se trata de *Psilotum nudum*, una oscura planta que crece en Florida, las islas del Pacífico y otras zonas de clima soleado. *Psilotum* es una estructura ramificada, un simple haz de vástagos verdes. *Psilotum* carece de raíces y semillas, igual que los briófitos. Pero, a diferencia de aquéllos, posee un sistema vascular y se erige sobre el suelo. Con sus tallos verdes sin hojas, podría parecerse a las primeras plantas terrestres. (Margulis y Sagan 2009:167)

Cuando aparecieron las primeras plantas con hojas, el resultado fue una notable ampliación del nicho ecológico: con su incrementada eficiencia para captar energía solar pudieron crecer en lugares donde los antiguos psilófitos no obtenían suficiente energía. Los tallos aparecen al desarrollarse un sistema hidráulico de soporte estructural de celulosa derivado de las paredes celulares de algas y

bacterias. Con la capacidad de ganar altura, las plantas vasculares pudieron rebasar a los rastreros briófitos y robarles la luz. Más tarde, en un mundo cada vez más poblado la competencia por acceso a la luz se intensificó. Algunas plantas inventaron una sustancia más resistente que, combinada con la celulosa, conserva su fuerza y rigidez incluso en condiciones de sequedad: la lignina, un polifenol complejo que confiere a tales plantas su leñosidad. Con la lignina la biosfera inicia su escalada vertical añadiendo una tercera dimensión al mundo de la vida terrestre... (Margulis y Sagan 2009:160, 166-167)

El desarrollo del reino vegetal no fue una conquista solitaria, se dio gracias a una temprana alianza con el reino fungi. La construcción de bosques diez mil veces más altos que los mayores logros de la original capa de musgos y líquenes no hubiera sido posible sin la participación de los hongos. Plantas y hongos unieron sus fuerzas desde el principio para colonizar la tierra firme. Los hongos se parecen a los animales en que no son capaces de producir su propio alimento, por lo que dependen de la producción de autótrofos como las plantas. Algunos hongos, como las micorrizas, se aliaron simbióticamente con las plantas para formar una extensión fúngica de las raíces, consiguiendo activamente nutrientes para ellas a cambio de alimento fotosintético. Otros hongos se especializaron en el reciclaje.

Los hongos digieren las sobras de otros. Lo que para nosotros es «descomposición» para los hongos es el saludable crecimiento de una nueva generación. Sin hongos ni bacterias que descompongan las macromoléculas complejas, los cadáveres de plantas y animales se acumularían dejando el fósforo y el nitrógeno fuera de circulación. En tierra, son los hongos los que se encargan de la mayor parte del tratamiento de desechos en la biosfera. (Margulis y Sagan 2009:149)

La evolución de la madera impuso sobre los hongos del suelo una gran presión selectiva que forzó la invención de formas de degradar la lignina, con lo que se aseguraba un ciclo biosférico de la materia producto de la coevolución de hongos y plantas. (Margulis y Sagan 2009:144)

La descomposición de estos compuestos libera dióxido de carbono, amoníaco, nitrógeno y fósforo, que quedan así disponibles para el resto de la biosfera. (Margulis y Sagan 2009:144)

A lo largo de millones de años, plantas, hongos, microorganismos y animales pequeños fueron poblando la dura superficie rocosa de la tierra trabajando en conjunto para recubrirla con la capa de suelo vivo que hoy es indispensable para el sostenimiento del mundo biológico que existe sobre las aguas. Transformaron lentamente superficies duras y secas —paisajes casi marcianos— que no hacían más que calentarse con los rayos del sol, en ambientes húmedos y llenos de materia orgánica, con una infinidad de nichos ecológicos que pudieron ser sucesivamente ocupados por pequeños y grandes animales. Hace 360 millones de años los continentes estaban ya cubiertos de bosques.

Antes de que aparecieran los dinosaurios, los primeros bosques estuvieron formados por helechos tropicales que se reproducían mediante un tipo primitivo de semilla. Suspendiendo su actividad metabólica y encapsulándose en espera del momento correcto se trató de una innovación evolutiva crucial: las plantas con semilla son capaces de superar sequías, periodos de frío extremo o de falta de luz solar. Las semillas fueron indispensables para la dispersión de las plantas por el mundo, y para la continuidad —por más de cien millones de años— de los primitivos bosques de helechos con semillas, un grupo tan extenso e importante entre las plantas como lo fueran los dinosaurios para los animales.

Si se miden por la pérdida de géneros y taxones superiores, las extinciones en masa del Permotriásico, hace 245 millones de años, fueron mucho más devastadoras que el más conocido episodio del fin del Cretáceo en el que se extinguieron todos los dinosaurios. Un factor fundamental en las extinciones permotriásicas pudo haber sido la expansión de los glaciares o un largo periodo de intenso frío —quizá generado a su vez por el impacto de un cometa o meteorito que oscureció los cielos con el polvo puesto en órbita—. Los helechos con semillas eran plantas tropicales. Los plantones y los propios árboles eran vulnerables al frío. Antes de que se extinguieran

todos los helechos con semillas, sin embargo, al menos uno de sus ancestros dio lugar a plantas que podían resistir temperaturas gélidas: las coníferas. (Margulis y Sagan 2009:169)

Las súper resistentes coníferas, capaces de proliferar en tierras áridas y frías, adaptadas para soportar el congelamiento estacional y que han logrado sobrevivir al ir y venir de glaciaciones y a dos cataclísmicos episodios de impactos de meteoritos, formaron los bosques de los que se alimentaban los braquiosaurios (Margulis y Sagan 2009:170-171).

Los mamíferos evolucionaron al final del Triásico, al mismo tiempo que los dinosaurios, o sólo un poco más tarde. Los mamíferos pasaron sus primeros 100 millones de años (dos tercios de su historia total) como pequeñas criaturas que vivían en los rincones y las grietas de un mundo de dinosaurios. Sus 60 millones de años después de la desaparición de los dinosaurios han sido algo así como una ocurrencia tardía.

No poseemos indicación de ninguna tendencia hacia la hegemonía de los mamíferos durante estos 100 millones de años iniciales. Más bien al contrario: los dinosaurios siguieron en posesión indisputada de todos los ambientes para animales terrestres de cuerpo grande. Los mamíferos no hicieron ningún paso sustancial hacia la dominación, los cerebros más grandes, ni siquiera hacia un mayor tamaño.

Si los mamíferos hubieran surgido posteriormente y hubieran ayudado a conducir a los dinosaurios a su perdición, entonces podríamos proponer legítimamente un escenario de progreso esperado. Pero los dinosaurios siguieron siendo dominantes, y probablemente sólo se extinguieron como caprichoso resultado del más imprevisible de todos los acontecimientos: una mortalidad en masa producida por un impacto extraterrestre. Si los dinosaurios no se hubieran extinguido en este acontecimiento, probablemente todavía dominarían el imperio de los vertebrados de cuerpo grande, como habían hecho durante tanto tiempo con un éxito tan evidente, y los mamíferos seguirían siendo animalitos en

los intersticios de su mundo. Esta situación prevaleció 100 millones de años, ¿por qué no por otros 60 millones de años? Puesto que los dinosaurios no iban en el camino de cerebros mucho mayores, y puesto que tal perspectiva puede quedar fuera de las posibilidades del diseño reptiliano (Jerison, 1973; Hopson, 1977), debemos asumir que la conciencia no habría evolucionado en nuestro planeta si una catástrofe cósmica no hubiera reclamado a los dinosaurios como víctimas. En un sentido enteramente literal, debemos nuestra existencia, como mamíferos grandes y capaces de raciocinio, a nuestra [buena estrella]⁶¹. (Gould 2009:403-404)

3.1.3. Curiosidades del mundo mamífero

El típico recuento de la historia de nuestra especie suele comenzar en el punto en el que, como primates, “abandonamos los bosques” —que, en la mitología moderna, podría interpretarse como abandonar el “estado de naturaleza”— para erguirnos en la sabana y construir un mundo propio con ayuda de nuestros grandes cerebros y pulgares oponibles. Sin embargo, como se puede ver, nuestra historia es menos la de un persistente y predecible éxito individual y más la de una contingente construcción colectiva: sin las relaciones de interdependencia que dieron origen al mundo natural en el que aparecimos, no estaríamos aquí.

Flores y semillas bellamente fosilizadas indican que las plantas con flores aparecieron en las latitudes medias del hemisferio norte, hace al menos 124 millones de años, a mediados del periodo Cretáceo [...] Aunque la selva ecuatorial del Amazonas contiene una inmensa colección de plantas con flores, hace apenas 10,000 años su extensión era sólo el 2 por ciento de la actual. Como los mamíferos, las plantas con flores —y especialmente las floridas junglas tropicales— son un fenómeno evolutivo reciente. (Margulis y Sagan 2009:172)

⁶¹ El traductor al español puso “estrellas afortunadas”, creo que quiso decir “estrella de la suerte”.

Como se sabe, las plantas con flores coevolucionaron junto con los insectos polinizadores. Si de entre la diversa fauna del Cámbrico hubiera sobrevivido el ancestro de los cordados (posiblemente *Pikaia*) pero no el de los artrópodos, el mundo de las plantas con flores y los insectos polinizadores nunca habría aparecido y nosotros seguramente no estaríamos aquí. A diferencia de las coníferas de semilla desnuda, los ovarios florales se desarrollan en forma de frutos que recubren a las semillas de este nuevo tipo de plantas. ¿Para qué?

Como llamativos envoltorios, los frutos coloreados y aromáticos con semillas [indigeribles] o desechables manejan la conducta del animal para que éste recoja y disperse la progenie de la planta.

En un ejemplo de la intimidad creciente entre los numerosos seres que cohabitan la biósfera, estos seres inmóviles, sin músculos ni cerebro —las plantas— han conseguido apropiarse precisamente la movilidad y la percepción activa que las separa de esos seres [supuestamente] superiores, los animales. Como la anastomosis simbiótica de las ramas del árbol de la vida, la unión de la reproducción vegetal con la sensibilidad y el gusto animal es una demostración del considerable poder sinérgico de la vida. Los seres vivos no sólo compiten y pelean; también se asocian y trabajan unidos. (Margulis y Sagan 2009:173)

Las plantas con flores crearon un lugar en el mundo para los mamíferos comedores de frutos —como nosotros— que, al defecar, dispersan las semillas y abonan los suelos para favorecer la continuidad reproductiva de los ecosistemas de los que dependen.

Incluso hoy nuestra especie tiene una especial relación con las angiospermas. Los granos, frutos, tallos, hojas y raíces de las angiospermas son nuestros alimentos primarios, directamente o de forma indirecta a través del ganado domesticado (con excepción de las comunidades dedicadas a la pesca). (Margulis y Sagan 2009:171)

Nuestros cerebros primates, que han evolucionado en un mundo de plantas con flores, todavía se consagran a la preservación y extensión de ese

mundo verde y nutritivo. Nuestra atracción por las angiospermas es profunda e instintiva. Tanto es así que vendemos aceites esenciales embotellados como perfume, añadimos aromas de fruta artificiales a alimentos y bebidas, y teñimos nuestras ropas de rojo, amarillo y naranja... (Margulis y Sagan 2009:172-173)

Con nuestra cacareada inteligencia nos hemos dedicado a distribuir árboles frutales y cereales por toda la superficie del planeta. Hemos exprimido el potencial fotosintético más que ningún otro animal en el pasado y en el presente [...] Peter Virousek, basándose en imágenes de satélite, estima que el 40 por ciento de las tierras del globo libres de hielo está destinado a la agricultura; muy pocas tierras cultivables permanecen sin labrar. (Margulis y Sagan 2009:174)

Nuestro mundo perceptual no sería el mismo sin el contraste entre rojo y verde que evolucionó en nuestra historia de buscadores de frutos en el bosque, o sin las sensaciones olfativas y gustativas asociadas a su consumo. Las “buenas costumbres” de muchos mamíferos —que buscan un árbol para orinar o entierran sus heces fecales— son indicios de que la selección natural ha favorecido a aquellos que promueven la continuidad reproductiva de los ecosistemas que los alimentan.

He puesto “costumbres” entre comillas porque tales conductas parecen ser más bien innatas o “instintivas”. Sin embargo, no debemos seguir creyendo que la “cultura” es lo que nos separa del resto de los animales —que supuestamente actúan mecánicamente, por “instinto”—. Para aclarar este punto, regresemos a la distinción entre conductas “innatas” (filogenéticamente determinadas) y “aprendidas” (ontogenéticamente especificadas) que desarrollan Maturana y Varela (1984). Los organismos con sistema nervioso tienen toda cierta capacidad de aprendizaje. Ahora bien, con la estructura corporal de los vertebrados existe la posibilidad de sistemas nerviosos más grandes (con más células) lo que posibilita una mayor diversidad conductual y una mayor plasticidad. Un fenómeno curioso, ampliamente extendido entre los vertebrados, es la imitación. Conductas exitosas

aprendidas por un animal pueden ser imitadas por otros de su misma especie que hayan sido testigos del éxito obtenido. De este modo, conductas adquiridas de manera ontogenética por los individuos pueden propagarse entre los miembros de un grupo social y aún entre distintos grupos sociales, lo que abre la puerta a la permanencia transgeneracional de las conductas aprendidas. Los patrones conductuales aprendidos que se distribuyen en un grupo social y que adquieren cierta estabilidad transgeneracional (transmitiéndose de generación en generación a través de la imitación u otras formas de aprendizaje) son, para Maturana y Varela, conductas culturales, las cuales pueden observarse en una cantidad de especies animales distintas. (Se trata de la tercera vía hereditaria que Jablonka y Lamb consideran en su libro *Evolution in four dimensions* [2005], siendo la genética y la epigenética las primeras dos, como expuse en el Capítulo 2) Dependiendo de la historia de interacciones de un grupo social particular, veremos que desarrolla repertorios conductuales culturales distintos a los de otro grupo, marcado por otra historia de descubrimientos y aprendizajes. Y entre grupos con patrones culturales distintos, observaremos episodios de contacto e intercambio en los que se influyen mutuamente. La “evolución cultural”, entendida como la modificación histórica de patrones de conducta aprendidos, colectivizados, y transgeneracionalmente estabilizados, implicará tanto cambios como permanencia, variabilidad y estabilidad, eventuales episodios de divergencia en “tradiciones” separadas (linajes de herencia cultural) así como eventuales episodios de confluencia, convergencia e intercambio entre ellas. El estudioso de la “cultura” saltará alarmado por la definición aquí presentada, tachándola de reduccionista, pero la historia todavía no termina... Estamos acostumbrados a pensar en la cultura como un fenómeno estrictamente humano, sin embargo existen numerosos ejemplos de fenómenos culturales (desde esta definición) entre diversas especies animales. Redefinir así “lo cultural” apunta precisamente a una reconceptualización de “lo humano” como parte de la naturaleza.

En el caso de los mamíferos, hay un elemento que favorece notablemente la aparición de fenómenos culturales. A diferencia de los reptiles, por ejemplo, cuyas crías nacen de un huevo en un nido que puede haber sido abandonado por

los padres hace tiempo, la forma particular del desarrollo mamífero implica una necesaria interacción cercana, íntima, en las fases tempranas entre, al menos, la madre y las crías. La interacción obligada entre una generación y la siguiente —la crianza— es una oportunidad perfecta para la imitación y la herencia cultural. Maturana y Varela (1984) dedican mucha atención a describir los importantes fenómenos que aparecen en la interacción social de organismos con sistema nervioso.

De manera natural se establecen interacciones *recurrentes* entre individuos de la misma especie —con el consecuente acoplamiento estructural— lo que da paso a la conformación de las llamadas unidades sociales. Muchos animales forman parejas, familias, manadas, parvadas y sociedades como forma de vida. Esto quiere decir que, para cumplir sus objetivos biológicos, requieren agruparse para formar unidades sociales cuya conformación permite el surgimiento de una serie de fenómenos que no podrían generar los individuos aislados. Maturana y Varela presentan abundantes ejemplos de cómo, mediante la conformación de las unidades de tercer orden, los organismos en conjunto expanden sus posibilidades de acción para lograr objetivos que serían imposibles para individuos aislados, por lo que para los animales sociales, formar parte de tales unidades se convierte en condición necesaria para el desarrollo de sus ontogenias. Así, el surgimiento de las unidades de tercer orden trae consigo la aparición de dominios conductuales ampliados y de toda una nueva fenomenología. Cuando en este tipo de fenómenos participan organismos con sistemas nerviosos, la plasticidad de dichos vínculos se torna fascinante.

En algunos casos, la conformación de tales unidades es transitoria y sólo abarca un momento específico de la ontogenia de los individuos participantes. Todos los organismos que se reproducen sexualmente requieren de manera indispensable conformar este tipo de unidades aunque sea en una mínima interacción como pareja reproductiva, requerimiento que en la naturaleza se resuelve en una inmensa variedad de formas, con distintos grados de complejidad y estabilidad. Cuando estos acoplamientos ocurren con la participación de sistemas nerviosos la variedad puede ser inmensa. Y así como algunos

acoplamientos de conductas sexuales o de crianza pueden ser transitorios, otros tipos de acoplamientos pueden abarcar la totalidad de la ontogenia de los individuos, por ejemplo, en el caso de los insectos sociales como las hormigas. La limitación del volumen máximo que el sistema nervioso de los insectos puede alcanzar (por su constitución física) limita la variabilidad de sus repertorios conductuales, por lo que sus organizaciones sociales presentan un elevado grado de rigidez. En el caso de los vertebrados y especialmente de los mamíferos, la plasticidad involucrada tiene resultados fascinantes.

Para decir que se ha formado una “unidad social” debemos identificar ciertos patrones de coordinación entre los individuos que la componen, produciendo en conjunto, dinámicas funcionales en ese nuevo nivel. La coordinación de la conducta entre los individuos se da a través de la comunicación. Siempre que hay un fenómeno social hay un acoplamiento estructural entre los individuos, por lo que —como observadores— podemos describir una conducta de coordinación recíproca entre ellos. Separándose de la idea convencional de información que fluye de un extremo al otro de una línea telefónica, Maturana y Varela entienden por “comunicación” al mutuo gatillado de conductas coordinadas que se da entre los miembros de una unidad social. Las conductas comunicativas, por lo tanto, no son conductas esencialmente diferentes a cualquier otra conducta (ni resultan de un mecanismo diferente), su particularidad es la función que cumplen dentro del acoplamiento social en el establecimiento de dichas coordinaciones conductuales. Con esta caracterización, las conductas comunicativas constituyen una clase particular de conductas que se presentan con o sin sistema nervioso, en el operar de organismos dentro de sistemas sociales. Pero en el caso de los organismos con sistema nervioso — como veíamos más arriba—, cobra gran relevancia la distinción entre formas filogenéticas u ontogenéticas de comunicación, que corresponden con el carácter instintivo o aprendido de las conductas sociales. Así, por ejemplo, entre las hormigas existen formas químicas de comunicación cuya aparición es independiente de la historia ontogenética de los individuos, está determinada de forma filogenética. Lo mismo ocurre con el canto de diversas aves, aunque en

casos como el de los loros, se presentan formas ontogenéticas de comunicación. Éstas consisten en conductas comunicativas creadas de manera original en la vida individual, creaciones que en algunos casos sólo duran lo que dura la vida del individuo. Otras aves aprenden cantos de sus progenitores durante su fase juvenil y los reproducen a lo largo de su vida, lo que genera verdaderas tradiciones de canto entre ellos.

Para que una conducta aprendida sea “comunicativa”, es necesario que exista al menos otro individuo (además de quien realiza la conducta comunicativa) que reaccione de una manera específica ante ella (generando lo que como observadores describiremos como una coordinación conductual entre ambos). Las conductas comunicativas, pues, pertenecen intrínsecamente al ámbito de lo social, y no tienen sentido entendidas como una conducta individual. A las conductas comunicativas *aprendidas* (ontogenéticamente especificadas) Maturana y Varela las llaman “conductas lingüísticas”. Nótese que el aprendizaje requerido para que una conducta lingüística exista es necesariamente un aprendizaje colectivo o social pues requiere que al menos dos (pero usualmente más) individuos aprendan a reconocer cierta conducta y la asocien con cierto patrón de coordinación conductual colectiva. Esto es lo que normalmente entendemos como el establecimiento de un “código” entre los miembros del grupo. Un ejemplo de nuestra experiencia cotidiana lo encontramos en nuestra interacción con los perros. Éstos pueden aprender a reconocer una conducta nuestra (un gesto, una palabra, etc.) y asociarla con cierto patrón de coordinación conductual. (La comunicación *interspecies* es posible en este caso gracias a que, tanto los grupos sociales humanos como las jaurías de lobos, utilizan entre ellos conductas lingüísticas para coordinarse, las cuales en el caso de los lobos incluyen también sonidos y posturas corporales). En el momento en que un grupo social aprende a coordinarse con base en ciertas conductas específicas (en el momento en que se establece un código entre ellos), esas conductas aprendidas individualmente por cada miembro pasan al ámbito de lo social y se convierten en fenómenos culturales, que pueden transmitirse de una generación a la siguiente. Por contraste, las conductas comunicativas innatas no son conductas lingüísticas, y su

estabilidad depende de la estabilidad genética de la especie. El conjunto de todas las conductas lingüísticas de un individuo constituye su “repertorio lingüístico”, el cual es variable y cambia a lo largo de las ontogenias de los organismos, en relación con la plasticidad del sistema nervioso que hace posible el aprendizaje que sustenta la aparición de tales conductas. El ser humano no es el único poseedor de un dominio lingüístico, pero ciertamente el suyo es mucho más extenso que el de cualquier otra especie, llegando a abarcar prácticamente la totalidad de los ámbitos de nuestra existencia.

En este sentido, las palabras son entendidas, antes que nada, como *acciones*: conductas lingüísticas surgidas en la historia de acoplamiento social humano, de carácter ontogenético o aprendido, y con estabilidad transgeneracional o cultural. El carácter arbitrario de las palabras (la arbitrariedad del vínculo entre el “significado” y el “significante”) es algo completamente esperable y consistente con esta caracterización. Las configuraciones conductuales (en este caso auditivas, originalmente) mediante las que se desarrollan las interacciones recurrentes entre los individuos de un grupo pueden ser cualquiera, sus características intrínsecas son irrelevantes, lo que importa es el modo en que los individuos del grupo utilizan esas configuraciones en el seno de sus acoplamientos sociales recíprocos. Las conductas lingüísticas todavía no constituyen propiamente un lenguaje y están presentes en diferentes especies animales. Diferentes variedades de conductas comunicativas ontogenéticas (gestuales, posturales, auditivas, etc.) pueden ser descritas por nosotros — observadores humanos— como “significando X”, con lo que estaríamos haciendo una *descripción semántica* de las conductas e interacciones observadas. Esto, para nosotros, resulta extremadamente natural, puesto que el funcionamiento social de las conductas lingüísticas (cuya aparición está correlacionada con ciertos elementos estables que podemos observar) nos permite asociarlas con términos semánticos. Sin embargo, aquí tenemos una nueva ocasión en donde es necesario mantener clara nuestra contabilidad lógica, no confundiendo el operar de un organismo con las descripciones que hacemos de sus conductas. En efecto, en términos del operar de los seres sociales, las interacciones entre ellos ocurren

como un mutuo gatillamiento de cambios de estado con el consiguiente acoplamiento estructural recíproco. El hecho de que en todos estos casos podamos relacionar las conductas con términos semánticos para describir la interacción (con lo que hacemos la situación comparable a una interacción lingüística humana, como en las fábulas) no significa que tales interacciones necesariamente funcionen *a través de* tales “significados”. Cuando describimos los términos semánticos —incluyendo nuestras palabras— como señalando objetos en el mundo, hacemos como observadores, una descripción de un acoplamiento estructural que no refleja el funcionamiento del sistema nervioso, por las mismas razones que he mencionado antes.

En el caso específico de la deriva natural de los homínidos, el surgimiento del lenguaje propiamente dicho habría consistido en una sucesiva ampliación de los repertorios lingüísticos, incluyendo cada vez más términos que relacionamos con diferentes elementos del mundo de experiencias común entre los miembros del grupo (sean estos objetos, individuos, características ambientales, estados de ánimo, etc.) hasta llegar al punto en que aparece el fenómeno de la reflexión lingüística, momento en el que se inaugura la propiedad de recursividad que caracteriza propiamente a lo que entendemos por “lenguaje”. El surgimiento de esta recursividad lingüística se produce cuando aparecen elementos lingüísticos que designan elementos lingüísticos, “descripciones de descripciones”, como por ejemplo las palabras “palabra”, “nombre”, etc. Maturana y Varela sostienen que sólo cuando se produce esta reflexión lingüística hay lenguaje, los organismos participantes de un dominio lingüístico comienzan a operar en un *dominio semántico*. Operamos en el lenguaje cuando podemos incluir como objeto de nuestras distinciones lingüísticas a elementos de nuestro propio repertorio lingüístico.

La historia evolutiva del ser humano, al estar asociada a sus conductas lingüísticas, es una historia en la que se ha seleccionado la plasticidad conductual ontogenética que hace posible los dominios lingüísticos. Para el operar de los sistemas sociales humanos el dominio lingüístico es fundamental, por lo que es un requisito la plasticidad neuronal de los individuos. Para cumplir nuestros objetivos

biológicos como humanos necesitamos operar en el lenguaje. Cuando se interactúa en el lenguaje, no hay límite a lo que se puede describir, imaginar, relacionar, abriéndose el potencial lingüístico para poder abarcar la virtual totalidad de nuestro mundo experiencial (tenemos incluso la capacidad de hablar sobre lo “inefable” y hasta sobre cosas que no existen). La característica clave del lenguaje es que nos permite *hablar sobre nuestras propias descripciones* (como lo hacemos ahora mismo) y como consecuencia, magnifica enormemente nuestra capacidad de *describirnos a nosotros mismos*. Al ser utilizado por los miembros de un grupo, el dominio semántico pasa a constituir parte del medio en el que operan los individuos buscando conservar su adaptación. Los autores señalan que operar en el lenguaje genera las regularidades propias del acoplamiento estructural social humano, que incluye entre otros el fenómeno de las identidades personales de cada uno (Maturana y Varela, 1984: 163). Nos realizamos en un mutuo acoplamiento lingüístico, no porque el lenguaje nos permita decir lo que somos, sino porque *somos en el lenguaje*. Maturana y Varela sostienen que la aparición del lenguaje, con la avanzada potencialidad de autodescripción que inaugura, es un elemento fundamental en la conformación de nuestra particular forma de autoconciencia y de nuestra particular forma de experimentar “lo mental”, tan dominada actualmente por el pensamiento en palabras. La posibilidad de la autoconciencia al estilo humano no deriva únicamente de lo que hay en el interior de nuestro cráneo sino que surge en el dominio del acoplamiento social humano.

Con el lenguaje nos es posible describir tanto nuestras experiencias perceptuales en el mundo como las más íntimas experiencias mentales y emocionales “en nuestro interior”. (De hecho, nuestra experiencia mental como humanos modernos está ya tan dominada por el pensamiento en lenguaje que incluso en la soledad más absoluta nuestro diálogo interno no para.) No sólo podemos intentar cosas como “describir un sabor” o “describir una planta”, sino que podemos describir situaciones completas y aprendizajes personales de manera que es posible socializar el conocimiento. El aprendizaje obtenido por un individuo puede ser compartido con el resto de su grupo a través de descripciones en el lenguaje. Y un conjunto de conocimientos adquiridos colectivamente puede

adquirir estabilidad transgeneracional gracias al lenguaje. Es posible que un grupo “recuerde” cómo llegar a un lugar distante aunque ninguno de los miembros haya estado actualmente ahí, gracias a que generaciones anteriores insistieron en describirles el modo de llegar. En el caso de los humanos, la gran cantidad de descripciones en el lenguaje que somos capaces de recordar —individual y colectivamente— nos permite conocer una gran cantidad de cosas sin necesidad de haberlas experimentado personalmente. Para manejar estos grandes acervos de descripciones, resulta necesario contar con un lenguaje reflexivo, autorreferente, recursivo, que nos permita decir cosas como “ese recuerdo es falso” o “esa descripción es equivocada”. Además de articular amplios conjuntos de descripciones concretas, resultado de experiencias empíricas —el insumo básico de toda “ciencia”—, el lenguaje nos permite hablar de cosas que están más allá de la experiencia perceptual, construyendo “explicaciones” cuyo alto grado de abstracción les hace ser indemostrables, que sin embargo dan sentido y coherencia al conjunto. Para entender el mundo y guiar su conducta en él, los humanos construyen “cosmovisiones” mediante el lenguaje. La historia particular de cada grupo, sus formas particulares de conceptualizar y dar sentido a sus descripciones sobre el mundo, generarán necesariamente distintas cosmovisiones.

La definición de fenómeno cultural de Maturana y Varela es compatible con la visión de Berger y Luckmann (1966) y con los más recientes modelos epidemiológicos de Sperber y Bloch (2002), todos los cuales permiten ver la cultura de un grupo no como un bloque monolítico sino como un entramado de elementos que adquieren cierta estabilidad transgeneracional de manera diferencial: algunos elementos se vuelven muy estables y relativamente invariables entre todos los miembros de un grupo mientras que otros elementos son altamente variables y efímeros. Sin embargo, de vez en cuando puede haber episodios de cambio profundo afectando creencias básicas u otro tipo de elementos culturales que habían permanecido invariables por un tiempo relativamente largo. Retomando el análisis de Thomas Kuhn (1962) sobre las revoluciones científicas o cambios de paradigma, Berger y Luckmann dedican

mucha atención a las dinámicas de poder entre subgrupos al interior de un mismo grupo cultural (o entre grupos culturales distintos articulados entre sí), enfatizando que, en casos en que se trata de creencias que no pueden ser confirmadas o refutadas mediante experiencia empírica, lo que más cuenta para su estabilización son las dinámicas de poder y los distintos usos de la violencia con los que se castiga a los disidentes.

Sostengo que tendiendo un puente entre la “construcción biológica de la realidad” descrita por Maturana y Varela —cómo en la historia filogenética de cada especie se configuran los elementos innatos de su mundo perceptual— y la “construcción social de la realidad” de Berger y Luckmann —cómo en la historia colectiva de un grupo cultural se configura su “mundo conceptual”, que será adquirido por cada miembro vía aprendizaje ontogenético— se resuelve el problema del relativismo epistemológico⁶². Por ahora el objetivo de este apartado fue mostrar una continuidad ininterrumpida entre las formas de cognición de los seres vivos en general y las formas particulares de cognición colectiva de los grupos sociales humanos. El lenguaje, con su reflexividad y recursividad, sí es una cualidad que ha aparecido exclusivamente entre los grupos humanos (corresponde al cuarto tipo de herencia considerado por Jablonka y Lamb). No hay aquí tampoco una frontera absoluta. Gorilas y orangutanes que se comunican

⁶² Que “todo conocimiento es relativo a las características del organismo cognoscente” sería una afirmación básica para una epistemología biocéntrica, la cual es radicalmente relativista, pero evita el abismo del solipsismo (creer que todo el “mundo” es solamente una proyección de nuestra mente) mediante la comprensión del acoplamiento estructural entre organismo y ambiente, y evita el problema de la incomensurabilidad fuerte (pensar que cada grupo cultural crea su propia realidad en el vacío por lo que es imposible traducir o tender puentes entre cosmovisiones distintas) reconociendo que muchas de las características de nuestro mundo experiencial son compartidas entre todos los grupos culturales dado que pertenecemos a la misma especie (e incluso con otras especies con quienes compartimos muchas características). Entender la cognición en el cuerpo (o una “embodied mind” como dice Varela) permite encontrar un nuevo punto de anclaje epistemológico; fundar la construcción social de la realidad en la “construcción biológica de la realidad” proporciona unas bases sólidas para superar la epistemología objetivista y el realismo ingenuo de la modernidad clásica, en consonancia con los argumentos que, desde física, biología, ciencias sociales y filosofía de la ciencia, se han presentado en su contra.

efectivamente con humanos a través del lenguaje americano de señas demuestran que tienen los niveles de plasticidad, aprendizaje y comunicación necesarios, pero, hasta donde se sabe, solo las sociedades humanas han desarrollado lenguajes propiamente dichos. El salto cualitativo entre conductas lingüísticas y lenguaje de ninguna manera sugiere un “salto fuera de la Naturaleza”: ni el sistema nervioso, ni el cerebro, ni el aprendizaje, ni la cultura, ni el lenguaje están “fuera de la Naturaleza”. Somos una especie única, sí, tan única como cualquier otra...

3.2. ¿Hacia dónde va la humanidad?

3.2.1. Progreso civilizatorio y evolucionismo

Como ciencia moderna, la antropología nace en un mundo dividido entre lo natural y lo humano, entre *res cogitans* y *res extensa*. En tanto que estudio del *anthropos*, enfrentó desde el inicio un problema irresoluble: así como Descartes no podía resolver el problema mente-cuerpo, así la antropología no ha podido resolver el problema cultura-naturaleza. Por un lado, tradicionalmente se consideraba que la esencia humana —la “Razón”— estaba “más allá” de lo meramente natural, que de alguna manera trascendía lo natural. Por otro lado, desde tiempos de Darwin se fortaleció un programa de investigación naturalista (externalista) que reinsertaba problemáticamente al humano en la naturaleza.

Como señala Rodrigo Díaz (1991), la visión del mundo fue cambiando desde un “tiempo de salvación” hacia un “tiempo naturalizado”. Para sostener la tesis de la excepción humana, hubo que reajustar el argumento: sí en la salvación trascenderíamos el mundo terrenal para alcanzar la realización como almas inmortales en unión con lo divino, en la evolución había que *salir de lo natural* y alcanzar la realización humana en el mundo cultural-científico-tecnológico. En el espíritu emancipatorio de la Ilustración, el progreso de la humanidad consistía en *liberarse de las ataduras* de la naturaleza para construir una utopía moderna. Si el

Homo sapiens había surgido en el reino animal como el organismo más avanzado en el progreso lineal de la evolución hacia los cerebros complejos, ahora correspondía a la humanidad utilizar ese gran cerebro para continuar la evolución cultural-científico-tecnológica hacia sociedades más y más complejas. Alcanzar el dominio humano sobre la naturaleza sería la victoria de lo racional sobre lo irracional, una reedición moderna del mito de la victoria del orden sobre el caos. En esa victoria radicaba la realización del ser humano, superando la condición de simple animal. No es sólo romper las cadenas que nos hacían esclavos de las leyes naturales sino que, mediante la razón y la ciencia, aprenderíamos a utilizar esas leyes a nuestro favor consiguiendo progresivamente dominar la naturaleza. Es la heroica hazaña de pasar de esclavo a Señor.

El modelo a seguir eran las naciones europeas, que ejercían un cada vez mayor dominio sobre el resto de los pueblos. Dicho dominio ya no se explicaría como cruzadas contra los infieles o evangelización forzada en el camino a la Salvación sino como el dominio natural de los más aptos en su acelerado avance evolutivo. La diversidad humana pasó de verse como infieles y paganos a bárbaros y salvajes. La diversidad cultural que militares y comerciantes europeos encontraban repartida en la geografía del ancho mundo, sería acomodada por los científicos modernos en una escala temporal lineal, donde cada grupo se situaría en algún estadio del proceso evolutivo que iba desde el “estado de naturaleza” hasta la civilización. De este modo, la dicotomía Humano-Naturaleza se traducía en la división Civilización–Barbarie. Como recuerda Marvin Harris:

Cuando Europa entró en la época de la expansión y exploración mercantil, aumentó el interés por describir y explicar la diversidad cultural. El descubrimiento y exploración de todo un «Nuevo Mundo» —las Américas— abrió los ojos de filósofos, hombres de Estado, teólogos y científicos a los asombrosos contrastes de la condición humana.

Hacia la mitad del siglo XVIII, durante el período conocido como de la Ilustración, comenzaron a surgir los primeros intentos sistemáticos de proponer teorías científicas sobre las diferencias culturales. El tema común de estas teorías era la idea de progreso. Eruditos como Adam Smith, Adam

Ferguson, Jean Turgot y Denis Diderot mantenían que las culturas eran diferentes no porque expresasen diferencias innatas en las capacidades o preferencias humanas, sino porque expresan diferentes niveles de conocimiento y logros racionales. Se creía que el género humano, incluyendo a los antepasados de los europeos, había vivido en una época en condiciones «incivilizadas», careciendo de un conocimiento de la agricultura y la ganadería, las leyes y los gobiernos. Sin embargo, gradualmente, guiado por el papel siempre en expansión de la razón en los asuntos humanos, el género humano progresó, según se suponía, desde un «estado de naturaleza» a un estado de civilización ilustrada. Así pues, las diferencias culturales eran atribuidas, en gran medida, a los diferentes grados de progreso moral e intelectual conseguidos por diferentes pueblos.

[...] Normalmente, se creía que las culturas se desplazaban a través de distintas etapas de desarrollo, concluyendo con algo parecido a los estilos de vida euroamericanos. Auguste Comte, por ejemplo, postulaba una progresión desde formas de pensamiento teológicas, pasando por metafísicas, hasta positivistas (científicas). George Wilhelm Friedrich Hegel describió un movimiento que partía de una época en la que sólo un hombre era libre (el tirano asiático), continuaba con otra en la que algunos eran libres (las ciudades-Estado griegas) y finalizaba con la época en la que todos deberían ser libres (las monarquías constitucionales europeas). Otros escribieron acerca de una evolución desde el estatus (como esclavo, noble o plebeyo) hasta el contrato (empleado y empresario, comprador y vendedor); desde pequeñas comunidades de gente en las que todos se conocen personalmente hasta grandes sociedades impersonales; desde sociedades esclavistas hasta sociedades militaristas y de ahí a industriales; desde el animismo hasta el politeísmo y de éste al monoteísmo; de la magia a la ciencia; de sociedades hortícolas dominadas por mujeres a sociedades agrícolas dominadas por hombres; y de muchos otros estados hipotéticos más primitivos y simples a estadios más recientes y complejos. (Harris 1998: 623-624)

En estas visiones, los autores solían proyectar, sin bases empíricas, sus prejuicios sobre las sociedades primitivas como una imagen invertida de lo que consideraban que distinguía a la sociedad moderna. Una de las visiones más influyentes fue la de Lewis Henry Morgan, quien en su libro *Ancient Society* (1877) dividía el proceso en tres etapas generales de evolución: el Salvajismo, la Barbarie y la Civilización, cada una de las cuales se dividía a su vez en tres subetapas. En el Salvajismo Inferior, las “hordas” nómadas subsistían por medio de la recolección de frutos, raíces y nueces, la gente se apareaba promiscuamente y la posesión de los recursos era comunal; la etapa Media arrancarían con el uso del fuego y la economía de la pesca y la Superior con el descubrimiento del arco y la flecha y con el establecimiento de la prohibición del matrimonio hermano-hermana. La Barbarie iniciaría con la cerámica e incluiría un mayor número de prohibiciones de incesto, la vida social alcanzaría el nivel de clan y aldea. La Barbarie Media iniciaría la domesticación de plantas y animales, la irrigación y la edificación con ladrillos y piedras; mientras que la etapa Superior incluye ya la fabricación de instrumentos de hierro y la propiedad privada. La Civilización se iniciaría con la escritura fonética y se caracterizaría por la aparición de la familia monógama y el desarrollo del gobierno civil. Si estas etapas se planteaban como universales, lo que variaba —dando origen a la diversidad observable— era la velocidad con la que cada pueblo avanzaba, lo cual se atribuía a diferentes capacidades intelectuales entre los grupos. Desde este tipo de pensamiento, el colonialismo europeo no se veía como la dominación injusta de un pueblo sobre otro, sino que la imposición de la civilización sobre los pueblos “atrasados” podía plantearse como una forma de ayudarles a salir del estancamiento evolutivo. (Harris 1998:624-625; Ribeiro 1976:18)

Otra corriente de pensamiento influyente en el siglo XIX fue el llamado “darwinismo social” que, pese a lo que el apelativo sugiere, posiblemente deba más a Herbert Spencer que al propio Darwin. Es de Spencer la famosa frase de la “supervivencia de los más aptos”, y la aplicó a la vida social antes de que Darwin publicara sus teorías. El darwinismo social



justificaba tanto la supremacía de la raza blanca como el capitalismo irrestricto, considerándolos ambos como expresiones naturales de la lucha permanente entre los individuos, entre las razas y las naciones en la que la eliminación de los menos aptos era también muy natural. Con estos razonamientos es que concluía Spencer que, por ejemplo, era mejor suspender toda la caridad y ayuda social a los pobres y desempleados, dado que esta ayuda no sólo prolongaba inútilmente su agonía sino que estaba interfiriendo con el progreso natural hacia el perfeccionamiento de las razas. (Harris 1998:625)

Marx se opuso diametralmente a los postulados racistas, supremacistas y pro-capitalistas de los darwinistas sociales, sin embargo, elementos centrales de su teoría corresponden también a una visión evolucionista. Para Marx, el progreso también se daba por medio de la lucha (entre clases) y la resultante es también que el proceso evolutivo avanza en una dirección bien definida. El esquema clásico de Engels estaba influenciado, en gran medida, por las ideas de Morgan, planteando un proceso lineal y universal a través de las etapas sucesivas del comunismo primitivo, la sociedad esclavista, el feudalismo, el capitalismo y el

socialismo. Tales estadios se definían a partir de los distintos “modos de producción” entendidos como la base material de la evolución cultural. (Harris 1998:626,629)

El modo de producción en la vida material determina el carácter general de los procesos sociales, políticos y espirituales de la vida. No es la conciencia de los hombres lo que determina su existencia, sino que, al contrario, su existencia es la que determina su conciencia (Marx 1970 [1859]:21)

La visión utópica de Marx sobre las sociedades futuras veía también el avance de la evolución y la realización plena de las facultades humanas en el progresivo dominio de la naturaleza, conducente a una sociedad próspera y liberada:

...una vez abandonada la estrecha forma burguesa, ¿qué será la riqueza sino la universalidad de necesidades, capacidades, goces, poderes de producción, etc. de los individuos, producida en el intercambio universal? ¿Qué será, sino el desarrollo pleno del dominio humano sobre las fuerzas de la naturaleza, las de su propia naturaleza, así como de la llamada “naturaleza”? ¿Qué será, sino la explicitación absoluta de sus facultades creadoras, sin otro requisito previo que la evolución histórica precedente, que hará de la totalidad de esa evolución —esto es, la evolución de todos los poderes humanos como tales, sin medirlos con ninguna vara previamente establecida— un fin en sí mismo? (Citado en Ribeiro 1976:160)

A inicios del siglo XX, los esquemas evolucionistas del darwinismo social y el marxismo fueron criticados. En Estados Unidos cobró fuerza el particularismo histórico de Franz Boas y sus alumnos, quienes cuestionaban la base empírica sobre la que estaban contruidos los modelos generalizadores de los evolucionistas, quienes desde sus escritorios imaginaban complicadas teorías que reflejaban más sus propios prejuicios etnocéntricos que la realidad de los pueblos que, en la diversidad, recorrían senderos únicos e irreductibles. En vez de buscar “leyes” generales que uniformaran la diversidad forzándola a encajar en un sendero único, la verdadera antropología consistía en hacer un trabajo de campo

extensivo que permitiera descubrir la complejidad de la vida social y el gran ingenio de las supuestas “razas primitivas”. Boas demostró que podían encontrarse culturas y lenguajes diferentes dentro de una misma “raza”, por lo que identificar la evolución cultural con la evolución racial (queriendo ver en las diferencias culturales expresiones de diferencias raciales) era equivocado. Ahí donde los “antropogeógrafos” (Mason, Huntington, Cousin y Semple) habían propuesto un determinismo ambiental⁶³, Boas y Malinowski mostraron que dicho modelo no servía para explicar muchos elementos culturales que variaban notablemente dentro de áreas con topografías y climas relativamente uniformes. Una forma menos determinista de considerar la influencia del ambiente fue el llamado posibilismo (como en Kroeber), donde el ambiente marcaba los límites de lo posible para el desarrollo cultural de los pueblos. Otra reacción contra el evolucionismo decimonónico fue el difusionismo de principios del siglo XX, que centraba su atención en el aprendizaje y la imitación, en los préstamos culturales entre pueblos de “razas” distintas y la difusión de elementos a través de las geografías. (Harris 1998:626-627)

La antropología del siglo XX se vio fuertemente influenciada por el relativismo cultural de Boas. Los evolucionistas del siglo XIX trataban de entender cómo había surgido la civilización a partir de la naturaleza, por lo tanto, sus modelos tomaban las sociedades europeas como modelo de referencia absoluto con respecto al cual medir el avance o estancamiento de los otros grupos culturales. A partir de Boas, muchos antropólogos han enfatizado la importancia de no tomar la propia cultura como referencia absoluta de “normalidad”, cuestionando los presupuestos etnocéntricos que nos hacen creernos el centro del mundo. Cada cultura debe ser entendida “desde dentro”, con relación a sus propios valores y su forma única de ver el mundo (de ahí la importancia del método etnográfico y las prolongadas estancias de trabajo de campo); las comparaciones entre grupos pueden conducir a juicios fuera de lugar. Desde este

⁶³ Sugiriendo que la diversidad cultural podía explicarse como se explicaba la diversidad biológica: en función de las presiones ambientales, encontrando correlaciones entre las condiciones naturales y las tecnologías humanas u otros aspectos culturales incluyendo también rituales.

punto de vista, no hay formas “superiores” o “inferiores”, cada grupo humano responde a su historia particular. De igual modo, cuestionaron la dicotomía tajante planteada por los científicos positivistas entre el sistema de creencias de los europeos modernos, supuestamente basado en la ciencia como verdad absoluta y objetiva, y los sistemas de creencias del resto del mundo, que se suponían basados en supersticiones, dogmas, magia e irracionalidad.

Todas estas críticas son válidas y de suma importancia, sin embargo, estando la antropología atrapada en el marco dicotómico mente-cuerpo / humano-naturaleza, el resultado de las críticas fue conducir a la antropología hacia un culturalismo antinaturalista. Las inaceptables conclusiones alcanzadas por quienes intentaron comprender la esencia humana como parte de la naturaleza, se tomaron como demostración de que el estudio de lo propiamente humano debía realizarse siguiendo otras reglas, considerando la cultura como algo fuera de la naturaleza. Es verdad que, como señala Néstor García Canclini (2006: 31-32), la oposición Naturaleza-Cultura permitió superar formas primarias de etnocentrismo en el pensamiento antropológico. Frente a los usos cotidianos, vulgares o idealistas de la noción de “cultura”, definirla como “todo lo que no es naturaleza” dio lugar a un conjunto de usos científicos del término (junto con una serie de protocolos rigurosos de observación y registro) los cuales admitían como “cultura” lo creado por *todos* los seres humanos en todas las sociedades y en todos los tiempos. “Toda sociedad tiene cultura”, por lo que no es válido que ninguna en particular (especialmente la cultura occidental) discrimine o descalifique a otras, aún cuando puedan resultar sorprendentes, enigmáticas o incomprensibles. Así, en vez de considerar que algunos grupos humanos permanecían en estados animalescos e infrahumanos, se asumió por principio que todos los humanos estábamos, por igual, fuera de la naturaleza.

Frente a los determinismos biológicos o ambientales, que buscaban establecer relaciones causa-efecto como explicaciones de la conducta humana, surgieron aproximaciones centradas en el estudio de la toma de decisiones con referencia a los objetivos y los sistemas de creencias de las personas. El hecho de que los biólogos rechazaran por principio todo enunciado teleológico (definido con

relación a los propósitos u objetivos de un sujeto intencional) como una explicación científica válida, reforzaba la idea de que lo propiamente humano estaba fuera del ámbito de las ciencias naturales. Se pensó que tratar al humano como entidad natural no podía sino reducirlo a la calidad de objeto pasivo y determinado por causas externas. Se actualizaba, pues, bajo nuevos términos, la misma dicotomía irreconciliable que ya planteaba Descartes entre las ciencias “internalistas” y “externalistas”. Muchos antropólogos se abocaron a estudiar la cultura, las creencias, los valores y las cosmovisiones como si se tratara de entidades fundamentalmente inmateriales e incorpóreas, pertenecientes a una realidad completamente desligada de la naturaleza. Y ante las nuevas avanzadas de los naturalistas por reconquistar el territorio perdido —como en el caso de la sociobiología, que buscó entender fenómenos “típicamente antropológicos” con argumentos de biología y selección natural, atribuyendo un papel causal a los genes— los culturalistas se radicalizaron aún más para llegar a decir que no hay nada natural en el ser humano, que todo es producto de la cultura, incluyendo aquello que culturalmente construimos como “lo natural”. Así, se desarrollaron numerosos trabajos deconstruyendo descripciones “naturalizantes” para mostrar que en el fondo no había más que prejuicios y presupuestos culturalmente establecidos y discursivamente reificados.

A mediados del siglo XX, insatisfechos con el excesivo particularismo, con el rechazo a hacer comparaciones entre grupos y con la renuncia a buscar generalizaciones en el estudio de los fenómenos humanos, algunos antropólogos intentaron situar nuevamente lo cultural en el marco material y de interacciones ecológicas para contextualizar diferencias y semejanzas que los nuevos y mejorados estudios etnográficos estaban ayudando a reconocer: tanto la ecología cultural de Julian Steward como el materialismo cultural de Marvin Harris dieron pasos importantes en este sentido. Ya desde antes “neoevolucionistas” como Gordon Childe (1974) habían intentado actualizar los esquemas evolucionistas (como el de Morgan) respondiendo a las justificadas críticas por sus deficientes fundamentos empíricos, incorporando los abundantes datos que estaban siendo arrojados por las investigaciones etnológicas y arqueológicas de la época. Pero

mientras que Childe se apegaba a la línea básica postulada por Morgan (aunque modificadas, Childe conserva el esquema evolutivo basado en tres “revoluciones culturales”: la revolución agrícola, la revolución urbana y la revolución industrial), Steward se distanció un poco más. Como narra Harris:

La vuelta a puntos de vista abiertamente evolucionistas en la segunda mitad del siglo XX entre los antropólogos culturales norteamericanos, fue estimulada por las evidencias arqueológicas, que los difusionistas no pudieron explicar, de las notables similitudes entre el desarrollo de los Estados e imperios en el Viejo y el Nuevo Mundo. El proceso gradual con el que los pueblos nativos americanos de las regiones andinas y mesoamericanas desarrollaron independientemente sus propias civilizaciones se conoce en la actualidad bastante bien, gracias a la moderna investigación arqueológica.

Julian Seward estaba especialmente impresionado con los paralelismos de la evolución de las antiguas civilizaciones de Perú, México, Egipto, Mesopotamia y China, y abogó por renovar los esfuerzos por parte de los antropólogos para examinar y explicar estas notables uniformidades. Sin embargo, Steward tuvo sumo cuidado para distinguir su esquema de la evolución cultural de las versiones más extremistas del evolucionismo del siglo XIX. Según Steward, el problema de estas últimas era que postulaban un conjunto de etapas únicas o «unilineales» para todas las culturas, mientras que en realidad hay pautas múltiples o «multilineales» de desarrollo que dependen de condiciones iniciales ambientales, tecnológicas y de otra índole. (Harris 1998:629)

Encontramos aquí de nuevo el problema entre dos interpretaciones de la evolución que abordé en el Capítulo 2. Por un lado tenemos a quienes ven la evolución como un proceso que avanza en alguna dirección definida y, por el otro, tenemos a los que dicen que no hay tal direccionalidad, que la evolución avanza “en todas las direcciones posibles”, y que la única tendencia observable es hacia la diversificación. Es la discusión que en biología existe entre quienes ven el

desarrollo de organismos más y más complejos como progreso evolutivo y quienes rechazan tal interpretación como sesgada por nuestros prejuicios antropocéntricos. De igual manera, en antropología tenemos a quienes postulan una direccionalidad hacia sociedades más y más complejas y quienes rechazan tal interpretación como sesgada por prejuicios etnocéntricos. La solución de Steward, proponiendo una evolución multilineal, busca restaurar la validez del principio de evolución direccional que va desde lo simple a lo complejo.

Esta solución también fue retomada, desde una posición marxista, por Darcy Ribeiro (1976), quien sostiene que el propio Marx hablaba de evolución multilineal a pesar de que sus seguidores —comenzando por el propio Engels— adoptaron dogmáticamente la sucesión de estadios (comunismo primitivo-esclavismo-feudalismo-capitalismo-socialismo) como regla universal. De acuerdo con Ribeiro, en su estudio de las formaciones precapitalistas, Marx señalaba que la ruptura evolutiva desde la condición primitiva puede asumir diversas formas, entre ellas menciona la “formación asiática”, la “antigua clásica”, la “eslava” y la “germánica”, los cuales no deben entenderse como etapas necesariamente sucesivas sino como formas alternativas que, sin embargo, desembocarían todas en el capitalismo como resultante histórica, cuyas contradicciones intrínsecas tienden naturalmente hacia el socialismo como sociedad futura. (Ribeiro 1976:19)

Siguiendo un esquema parecido, Ribeiro hace un recuento de la historia humana como dividido en dos fases. La primera se desenvuelve como un proceso diversificador en el que las culturas humanas se especializan para habitar los diversos ambientes. Sin embargo, conforme los grupos humanos van adquiriendo mayor eficacia en el dominio de la naturaleza, unos antes y otros después, avanzarán en un progreso direccional homogeneizador hacia la civilización. Ribeiro retoma a Leslie White (ver *infra*) para decir que el proceso homogeneizador consiste en que, por un lado, la evolución se desarrolla en todos lados siguiendo el mismo imperativo general que conduce hacia una creciente eficacia en el plano de la productividad, lo que permite mantener contingentes humanos cada vez mayores y, por el otro, estas sociedades adquieren una capacidad incrementada para imponerse sobre las menores, forzándolas a

integrarse o desaparecer. De esta manera, la diversificación sería gradualmente revertida y al final sólo quedarían sociedades con alto grado de dominio de la naturaleza integradas en un sistema interactivo único de alcance mundial. Ribeiro defendía este esquema para oponerse a las visiones racistas que consideraban a los europeos como inherentemente superiores, justificando así su dominio sobre el resto. Escribiendo desde América Latina, Ribeiro decía que el dominio que han ejercido por algunos siglos las naciones europeas desde la Revolución Industrial era circunstancial en su “coloración” étnica, aunque su eventual ocurrencia era un paso necesario en la evolución humana:

La circunstancia de que esos pasos necesarios de la evolución humana hayan ocurrido pioneramente en Europa, coloreó de contenidos ideológicos singulares los procesos civilizatorios a través de los cuales se difundió la tecnología de la revolución mercantil y de la revolución industrial. El desarrollo capitalista-mercantil y el imperialista-mercantil ganaron un perfil “europeo occidental y cristiano”, como si esos atributos étnicos-culturales y religiosos fuesen el contenido fundamental de la tecnología de la navegación, de las armas de fuego, de los motores de explosión o de la gasolina. En consecuencia, estas conquistas tecnológicas y el poderío asentado en ellas fueron consideradas “hazañas del hombre blanco” y pruebas de una supuesta superioridad innata sobre todos los pueblos del mundo. En realidad, se trata de etapas naturales y necesarias del progreso humano, que de no haber madurado en el contexto europeo, habrían fatalmente florecido en otra área, como la musulmana, la china o la hindú. (Ribeiro 1976:165)

De igual manera, el hecho de que algunos pueblos o regiones enteras vivan hoy en día en el “subdesarrollo”, no sería prueba de características innatas inferiores, sino resultado de que los centros dominantes les han mantenido ahí como parte de la estructuración geopolítica en centros y periferias.

Para Ribeiro —quien escribió *El Proceso Civilizatorio* en la década de los setentas— la esperanza de la realización del socialismo futuro radicaba en las

potencialidades de la “revolución termonuclear”. Si bien esta nueva revolución tecnológica podía también conducir a la catástrofe mundial —la perspectiva de la destrucción total era por primera vez una realidad tangible en dicha época— también albergaba la posibilidad de lograr finalmente la igualdad entre los pueblos. Accediendo a una fuente de energía sin límites se haría posible una abundancia generalizada, con lo que la explotación de unas clases sobre otras se haría innecesaria y los pueblos que buscan recuperar la autonomía perdida podrían finalmente alcanzar a los que se les adelantaron en la carrera histórica por dominar la naturaleza. El proceso homogeneizador llegaría a un feliz término, estableciéndose así la “civilización de la humanidad”, definida en contraste con la civilización que es dominada por uno u otro grupo cultural o clase social. Como el triunfo final de la ciencia sobre la naturaleza, “será la intervención racional humana la que pasará a dirigir la historia” (Ribeiro 1976:157).

3.2.2. Progreso civilizatorio y termodinámica

Parece ser que Leslie White fue el primer antropólogo en discutir la evolución de las sociedades humanas con referencia a la cantidad de energía que éstas son capaces de captar y aprovechar, destacando como hitos fundamentales la Revolución Agrícola —cuando los humanos adquieren control sobre la energía solar captada por las plantas— y la Revolución Industrial —cuando se accede a la energía fósil—. Sin embargo, de acuerdo con Leonardo Tyrtania, White veía la evolución biológica y humana como si avanzara en sentido opuesto de lo que postulaba la segunda ley de la termodinámica: incrementando cada vez más la organización de la materia y la concentración de la energía.

El planteamiento de White, según el cual la evolución “corre en sentido opuesto” al del resto de la naturaleza, coincide con la muy generalizada convicción de que la vida, la inteligencia y la sociedad son fenómenos *sui generis*, excepcionales, que por alguna razón no se explican a partir de las leyes de la naturaleza. Se cree que la cultura es un fenómeno no material y de algún modo *supra* natural. La “conquista de la naturaleza” por parte de

“la humanidad” es una creencia tan firmemente establecida que es difícil discutir el asunto con provecho. Para mucha gente resulta muy reconfortante sentirse parte de esta especie excepcional, la autodenominada *Homo sapiens sapiens*, capaz de desafiar las leyes cósmicas y correr en sentido contrario a la naturaleza, como efectivamente lo hace, con creciente velocidad, la civilización de la máquina. En su medida, la antropología es también responsable de ese triunfalismo cuando describe culturas y sociedades humanas que varían libremente y sin límites, como si todo fuera posible en este mundo. La máxima estructuralista de que la cultura es la “irrupción de lo arbitrario en la naturaleza” parece afianzar esa visión. (Tyrtania 2007:23)

Como expuse en los capítulos precedentes, los científicos en el siglo XIX estaban desconcertados con la aparente oposición entre lo que planteaba la segunda ley de la termodinámica para la evolución del mundo físico y la clásica visión de la evolución biológica como progreso de lo simple a lo complejo. En el siglo XX, nuevos modelos han permitido integrar ambos mundos en un continuum no reduccionista, lo que ha despertado un creciente entusiasmo por la articulación de un nuevo marco integrador. Ahora tenemos una visión de continuidad dentro de la cual la inserción del ser humano debe plantearse en nuevos términos. Como señala Tyrtania:

El meollo de la cuestión es cómo se plantea la relación *natura-cultura*. Nadie puede en la actualidad sostener que la vida contraviene los principios fundamentales de la naturaleza. Pero mientras biólogos y físicos se han puesto ya de acuerdo en este punto, los antropólogos siguen acariciando la idea de que la cultura se sobrepone a la naturaleza o que obedece sus propias “leyes”. Hay quienes llegan al extremo de afirmar que la posibilidad de hacer *ciencia* de la sociedad o de la cultura “es una quimera” (O’Meara 1997: 399). Esta opinión sigue siendo representativa de la antropología contemporánea en general. El problema es que, a menudo, los antropólogos son proclives a entender por ciencia la física clásica que

aprendieron en la escuela, con su epistemología mecanicista y determinista.
(Tyrtania 2007:22)

En un principio, la termodinámica clásica incluía únicamente modelos de evolución hacia el equilibrio termodinámico (descritos por Boltzmann como incremento del caos atómico). Como expuse en el Capítulo 1, los modelos de termodinámica de sistemas alejados del equilibrio, en cambio, muestran que, en un universo en el que la energía se disipa y la entropía siempre aumenta, es posible encontrar —dependiendo de las circunstancias— procesos de autoorganización y de evolución hacia formas más complejas. De manera semejante, Spencer —entre muchos otros— veía en la evolución biológica y humana un inevitable progreso desde las formas simples a las complejas, siendo el ser humano —y especialmente la sociedad moderna, capitalista, industrial— la cúspide del proceso evolutivo. Como expuse en el Capítulo 2, la idea del progreso lineal de formas simples a complejas ha sido ampliamente cuestionada entre los biólogos del siglo veinte, sin embargo, algunos han tomado el “principio de Lotka” (en la interpretación de Odum) como argumento para revivir la visión spenceriana de progreso lineal desde organismos simples hasta organismos complejos (a pesar de que Lotka explícitamente rechazó dicha interpretación en 1925:21-22).

Richard N. Adams parece haber sido el primer antropólogo en discutir la expansión de la red humana y la evolución de los sistemas políticos en un marco conceptual inspirado en el trabajo tanto de Alfred Lotka⁶⁴ como de Ilya Prigogine. Adams retoma el concepto de “estructura disipativa” para aplicarlo a las sociedades humanas —enfocando su permanente búsqueda de fuentes de energía para sostenerse en un estado alejado del equilibrio termodinámico, y la consecuente exportación de entropía al ambiente—, y utiliza el “principio de Lotka” para explicar la direccionalidad observada en la evolución de las formaciones sociales. Aunque dedica algunas páginas a discutir aspectos problemáticos de la

⁶⁴ Buscando antecedentes, Adams encuentra escasas menciones en el trabajo de White, Sahlins y Service, Harris y Ellen, considerando que, en general, los antropólogos han “ignorado campalmente el principio de Lotka”. (Adams 2001:79-80)

interpretación de Odum sobre el principio de Lotka (Adams 2001:81-84), a fin de cuentas adopta la interpretación de que dicho principio implica un progreso lineal desde organismos simples, que disipan poca energía, hacia organismos complejos, que disipan mucha energía:

A principios del siglo XX la teoría darwiniana de la selección natural se unió a la segunda ley para explicar que, en vez de seguir un proceso de degeneración caótica, las especies parecían alcanzar formas cada vez más complejas. Alfred Lotka sostuvo que esto se debía a que, a la larga, algunas de las nuevas formas emergentes utilizaban cantidades mayores de energía del medio ambiente y la empleaban en sus esfuerzos por sobrevivir (*cf.* Lotka, 1925 y 1945). Las diferencias dieron a las que usaban mayor cantidad de energía una ventaja sobre las que empleaban menos, que, de hecho, podían convertirse en sus presas. Así, según Lotka, conforme surgían nuevas poblaciones, las que captaban mayor cantidad de energía tendían a sobrevivir a expensas de aquellas que captaban menos. La selección natural, lejos de ser una fuerza restrictiva, era una fuerza selectiva que concertaba la producción de organismos y sociedades cada vez más complejos (Adams 2007:78)

Como expuse en el Capítulo 2, cuando Odum “redescubrió” el “principio de Lotka” popularizó una interpretación del mismo que no se sostiene al reexaminar la obra del propio Lotka. Odum entendió el principio de Lotka —planteado como “principio de la máxima potencia”— como una versión energética del principio de Gause —el principio de la exclusión competitiva—, fusionando problemáticamente ambos modelos (ver 2.3.3-4 y discusión más adelante). La confusión entre el principio de Gause y el principio de Lotka marcará, a partir de este punto, todo el recuento que hace Adams⁶⁵ de la historia de la humanidad:

⁶⁵ Adams alcanzó a ver parte del problema cuando señala que Odum se equivocó al plantear como ley de aplicabilidad general (proponiéndolo incluso como 4ta ley de la termodinámica) un principio que en realidad es de aplicabilidad limitada (Adams 2001:81-84). Sin embargo, no identificó que la raíz del problema está en que Odum confundió los dos niveles —organísmico y ecosistémico— que

La aparición de nuevas tecnologías, con el consiguiente aumento de eficacia en la extracción de energía para el uso del hombre, significó que de tiempo en tiempo algunas sociedades tuvieran una ventaja adaptativa sobre otras. Aquellas con mayores habilidades sobrevivieron a expensas de las demás. Esto es en esencia lo que propone la ley de Lotka, y es fundamentalmente la forma en que operó la selección natural entre grupos humanos. (Adams 2007:95)

Lo que Adams quiere explicar no es solamente la evolución tecnológica y de captura de energía sino, principalmente, la evolución de estructuras sociales cada vez “más complejas”:

La evolución sociocultural es esencialmente la historia formal del surgimiento sucesivo de estructuras disipativas cada vez más complejas y activas. Como señaló Lotka, opera mediante la selección natural, ya que la variedad de estructuras emergentes que logran procesar mayor cantidad de energía tienden a tener ventaja sobre las que procesan menos. (Adams 2007:210)

La característica fundamental que hace a una sociedad “más compleja” que otra es la división interna en clases jerárquicas. De esta manera, en el modelo de Adams, la segunda ley de la termodinámica y la selección natural, actuando en conjunto a través del principio de Lotka, permiten entender el progreso lineal de incremento poblacional, incremento en el gasto de energía y creciente dominación política: desde las pequeñas bandas igualitarias de cazadores-recolectores hasta las formas contemporáneas de imperialismo globalizado e industrial.

Se ha hecho del uso común una tipología de grados de niveles de complejidad cultural, referida sobre todo a la evolución social, con el supuesto implícito de la base tecnológica necesaria. Con base en la suposición de que la secuencia de crecimiento coordinación-centralización

distingue Lotka y que, por lo tanto, el “principio de Lotka” no implica un necesario progreso desde organismos simples a complejos ni de sociedades simples a complejas. (ver 2.3.3-4)

constituye una parte esencial de la expansión, en *Energy and Structure* utilicé la secuencia de bandas-jefaturas-reinados-naciones-bloques (Adams 2007:225)

A continuación presentaré una serie de extractos que dan una buena idea de la forma en que interpreta Adams la evolución de la dominación política como expresión de las leyes termodinámicas:

podemos asumir que la banda y las primeras organizaciones tribales se multiplicaron y extendieron durante más o menos dos millones de años, a partir de su aparición en África, y que los pueblos cazadores y recolectores llegaron a cubrir la tierra. En el curso de este proceso desarrollaron necesariamente nuevas tecnologías adecuadas a los ambientes particulares que iban dominando. Cuando el hombre llegó a domesticar otras plantas y animales, había logrado una amplia variedad de modos de adaptación por medio de las bandas. Culturalmente presentaba una gama de soluciones de supervivencia. Sociológicamente, sin embargo, hay que señalar que en términos de expansión energética no formaron sociedades mucho mayores que los territorios actuales de los primates. El dominio del fuego y de algunos utensilios les dio una ventaja que poseían pocas bandas no humanas. (Adams 2007:93-94)

Aunque las bandas eran formaciones fundamentalmente igualitarias, en ocasiones, sociedades recolectoras se centralizaban (Adams 2007:219). “La tribu era un agregado de bandas organizado por motivos de defensa [...] Es probable que este proceso se produjese con frecuencia en el curso de la historia en respuesta a amenazas similares” (Adams 2007:225). La estructuración en este nivel superior era pasajera, duraba sólo mientras fuera necesario algún tipo de coordinación para lograr funciones superiores, disolviéndose nuevamente al retornar la normalidad.

Adams menciona un caso de progreso por exclusión competitiva como uno de los “primeros pasos” en la evolución social. “Adelantándose un paso a sus primos primates”, la cultura y los “implementos de poder social” le permitieron

enfrentarse con éxito a nuevos ambientes y vencer en la competencia por la supervivencia:

Entre los subproductos de esa nueva habilidad se produjo inevitablemente el exterminio de todos los parientes cercanos que no pudieron desarrollar habilidades culturales comparables [...] Mientras que la cultura constituyó el primer gran paso mentalístico de la humanidad, la eliminación de sus parientes “inferiores” pudo haber sido el primer gran paso social. (Adams 2007:211)

El punto crucial de la discusión, al que volveré más adelante, es la fusión o confusión del principio de exclusión competitiva y el principio de Lotka, que se hace evidente al suponer que un incremento en el flujo de energía *siempre* otorgará ventajas adaptativas.

En la historia de la sociedad humana el papel de las estructuras disipativas emergentes fue el de usar más energía; exigen más energía para proseguir con sus actividades. El hombre que posee un caballo tiene ventajas sobre el que no lo tiene; el propietario de un automóvil cuenta con ventajas sobre el poseedor del caballo [...] El incremento de ventajas adaptativas se vuelve sinónimo del surgimiento de un incremento del flujo de energía (Adams 2007:101)

Para armar el argumento de que hay un empuje termodinámico que conduce a la evolución hacia formas más y más complejas, que gastan más y más energía, Adams tuvo que rechazar un elemento importante de los modelos de Prigogine sobre el comportamiento de los sistemas disipativos. Mientras Prigogine describe que, cuando hay un flujo de energía constante, los sistemas disipativos se instalan en estados estables, Adams tiene que postular que ellos buscan siempre utilizar más y más energía. Consciente de que esto le hace distanciarse de los modelos de Prigogine, Adams trata de defender la utilización del concepto:

¿Resulta de alguna utilidad tratar de identificarlas [a las sociedades humanas] como estructuras disipativas en el sentido planteado por

Prigogine? De momento sólo puedo sugerir una respuesta tentativa. Aunque estos peculiares productos sociológicos humanos pueden carecer de límites definidos y del supuesto estado constante [metaestable] de la estructura disipativa, comparten con ella algunas otras características: dependencia del insumo-producto de energía, la relación tamaño a volumen del flujo de masa energética, y la disipación inevitable que, si se detiene el insumo de energía, da como resultado reliquias fragmentadas de una sociedad. (Adams 2007:96)

Y es que, para Adams, si bien algunas sociedades humanas pueden haberse instalado en un estado estable en algún momento de la historia, se trataría de casos que se salen de la regla pues, en principio, las sociedades humanas buscan siempre incrementar tamaño y gasto de energía:

en este nivel de desarrollo evolutivo podemos considerar que las bandas diseminadas formaban una especie de estructura disipativa en la cual cada una de ellas alcanzó dimensiones funcionales en relación con la disponibilidad de recursos en su medio ambiente. Se introdujeron mecanismos que tuvieron el efecto acumulativo de mantener a la población dentro de los límites permitidos por los recursos disponibles. Sin embargo, también era posible incrementar los recursos. Se produjeron adelantos tecnológicos que permitieron la expansión de las poblaciones. Esto significa que aunque las bandas, y más tarde las jefaturas y los reinos-Estado, hubiesen encontrado un estado constante [metaestable], efectivo, si bien temporal, aún no se ha logrado un estado constante [metaestable] para la especie en su totalidad. Todo lo contrario. Desde su génesis primitiva, la especie creció y se extendió en un proceso continuo; de manera irregular, con lentitud al principio, pero creció inexorablemente. La expansión manifestó un patrón general de crecimiento exponencial (Adams 2007:94-95)

La primera fase de este crecimiento exponencial fue la “expansión horizontal”: sociedades igualitarias se expanden por los continentes hasta saturar el territorio,

pero después, hace unos diez mil años, en una variedad de lugares diferentes, comenzó a sentirse una nueva fuente de tensión: la aglomeración. Grupos paleolíticos igualitarios “no podían llegar a decisiones comunes para resolver las tensiones crecientes”, en la competencia por nichos comunes ya no había a donde emigrar, por lo que tuvo que surgir una nueva solución: la “expansión vertical”. Ésta consiste en la adición de niveles superiores de integración.

Me parece acertado visualizar el surgimiento y la subsecuente adición de niveles superiores de integración como extensiones de niveles tróficos en que la vida de cada nivel superior es posible gracias a que su estructura disipativa se alimenta de la producción de las estructuras de niveles más bajos. Es así que a partir de una tierra rica en minerales y con suficiente humedad, surge un nivel de herbívoros. Esto, a su vez, permite el surgimiento adicional de carnívoros. El hombre aparece como un carnívoro más, pero por ser omnívoro puede desenvolverse en todo el territorio. El ingenio del hombre es mayor que el del omnívoro promedio, y aprende a explotar el trabajo de sus semejantes, introduciendo así un nuevo nivel de integración. De aquí en adelante no hay más que un paso para la adición de niveles superiores de seres humanos que viven sucesivamente de los que se encuentran en niveles inferiores. El hombre rara vez se ha rehusado a explotar algo que su tecnología le permite utilizar. (Adams 2007:224)

Lo anterior —que recuerda aquella visión clásica del *Homo homini lupus*— ilustra el proceso básico que conduciría hacia la formación de estados e imperios. El primer paso, de las tribus a las jefaturas, se produciría cuando se forma de manera permanente una unidad social estratificada y con poder centralizado, hito que marcaría el inicio de la “segunda gran época de la humanidad” (Adams 2007:217), la era de la expansión vertical.

Éste es probablemente uno de los pasos más importantes en la evolución cultural. Fue la primera vez que un grupo de hombres contrajo una dependencia permanente con respecto de otros; fue la primera vez que el hombre perdió sus derechos individuales de primate y su poder autónomo

de decisión; la primera vez que una organización social primate rebasó el material adaptativo básico suministrado por sus habilidades genéticas y estableció criterios de superioridad o inferioridad culturalmente definidos [...] la primera vez que un sector de la sociedad humana comenzó a tratar a otro sector de la misma sociedad en una forma que hasta ese momento había sido reservada para forasteros despreciados, complicando de manera fundamental la vieja y sencilla distinción binaria entre “nosotros” y “ellos”. (Adams 2007:218)

Este nuevo arreglo social hizo posible concentración de mano de obra que podía a su vez ser utilizada para incrementar la producción, que a su vez puede conducir a un incremento de mano de obra, con lo cual la expansión vertical se promueve a sí misma (*feedback* positivo).

Para que la expansión vertical resulte razonablemente estable es necesario mantener los insumos incrementados que conducen al crecimiento. El surgimiento de niveles superiores requiere implícitamente un incremento en el flujo de energía que atraviesa el sistema, y gran parte de este incremento cumplirá la función específica de sustentar los nuevos niveles superiores. (Adams 2007:223-224)

Adams señala que las jefaturas podrían haber surgido de manera independiente en distintos lugares del planeta, iniciando una nueva oleada de expansión horizontal, inaugurando un nuevo nivel de competencia entre “jefaturas que competían por el dominio de ciertas áreas y poblaciones” (Adams 2007:218-219). Con el desarrollo de intercambios comerciales y mejor tecnología militar, se permitiría un mayor escalamiento social con lo que surgirían los reinos. La continuidad del mismo proceso llevaría desde la domesticación de plantas y animales hasta la formación de naciones-Estado y, con la incorporación de fuentes de energía inertes como los combustibles fósiles, al desarrollo del imperialismo industrial.

La domesticación estableció dos sistemas diferentes pero coevolutivos. Uno de ellos fue la interdependencia que se desarrolló entre seres humanos y

plantas y animales domesticados. El otro fue la interdependencia entre un sector trabajador domesticado y un sector regulador especializado. (Adams 2001:353)

Así pues, el desarrollo es un proceso que comenzó con la domesticación, cuando algunos seres humanos trataron por primera vez de conseguir que ciertas plantas, animales y otros seres humanos trabajaran un poco más en su beneficio. La energía no humana en expansión introducida por la industrialización hizo de la domesticación un mito llamado “progreso” y, posteriormente, “desarrollo”. (Adams 2001:355)

Desde una perspectiva evolutiva amplia, el “desarrollo” puede verse como una versión de alta energía de lo que se manifestó por primera vez hace miles de años como el esfuerzo por domesticar a otros seres vivos. Los controles que la gente estableció sobre plantas y animales para mejorar su capacidad de supervivencia se reprodujeron durante el surgimiento de la civilización, a medida que las jerarquías que surgían iban centralizando el poder sobre la sociedad mayor, es decir, a medida que domesticaban a la gente con el propósito de asegurar su propia supervivencia. (Adams 2001:352)

Para Adams, todo esto no es más que una competencia natural y necesaria por incrementar el gasto de energía:

En un mundo cada vez más lleno de sociedades, ya sean de nivel paleolítico o industrial en cuanto al uso de energía, algunas sociedades o sectores de las mismas —por designio o por azar— tienen más éxito que otras en la invención de soluciones. A través de los años, el rasgo principal que caracteriza a todas las sociedades que se desarrollaron a expensas de otras es su habilidad para captar y utilizar más energía, ya sea en la forma de mayor cantidad de seres humanos o, lo que a la larga es más importante, en términos de un desarrollo técnico-ambiental más efectivo. (Adams 2007:101)

Lo que no sería “por azar” es el surgimiento de jerarquías y sociedades estratificadas: esto es planteado como un proceso necesario, la expresión de una ley natural.

La segunda ley de la termodinámica, operando a través de la selección natural, conduce al surgimiento de estructuras sociales y técnicas que utilizan cada vez más energía. (Adams 2007:102)

Esta afirmación, que podría sonar un tanto inocua, implica entonces que la dominación y la explotación de unos para beneficio de otros serían tan naturales como inevitables. La evolución avanzaría, necesariamente, en esa dirección.

Si bien es cierto que el neodarwinismo ha puesto énfasis en la naturaleza azarosa de la evolución, existe una direccionalidad inherente al surgimiento de la jerarquía, implícita en conceptos como el de “estabilidad estratificada” de Bronowski (1970), “arquitectura de la complejidad” de Simon (1962), y en el principio de Lotka (1922). El surgimiento de la jerarquía fue inmensamente importante, puesto que estableció sistemas coevolutivos recíprocamente amplificadores (Maruyama 1963) dentro de la sociedad humana misma, es decir, los sectores sociales de la regulación y el trabajo. Esta direccionalidad refleja la preferencia selectiva experimentada por las sociedades jerárquicas respecto de las que no consiguieron o prefirieron no optar por el crecimiento jerárquico. Se trata de una trayectoria histórica que se ajusta al principio de Lotka (Adams 2001:353)

Tenemos entonces un cuadro en el que la evolución humana avanza direccionalmente desde las bandas seminómadas hasta la civilización industrial, pero Adams no plantea esto como un progreso heroico sino como una tendencia natural que inevitablemente tuvimos que obedecer y que, finalmente, nos arrastrará hacia situaciones fuera de control:

Así se conforma el cuadro de cómo el hombre en la biosfera siguió la dirección señalada por la segunda ley de la termodinámica; encontró que *la única manera de sobrevivir* al enfrentarse con otros hombres consistía en

diseñar estructuras sociales y técnicas que captaran cada vez más energía, del ambiente extrasocial al principio, de los mismos hombres después. Complacido con los logros alcanzados, era inconsciente de las consecuencias que, miles de años después, llevarían a sus descendientes al reconocimiento de que el trayectoria vital de la inmensa y expansiva estructura disipativa era producto del hombre, sujeta a sus decisiones, pero tal vez irrevocablemente fuera de su control. (Adams 2007:242, cursivas mías)

Aunque en el esquema adamsiano la historia de la humanidad se resume como un proceso de creciente dominio sobre el ambiente, sobre plantas, animales y sobre otros humanos, el resultado final no es que los humanos ganemos un progresivo control sobre nuestro propio destino (como quería Darcy Ribeiro) sino que, desencadenando fuerzas más allá de nuestro control, muy probablemente seremos arrastrados hacia la catástrofe.

Tradicionalmente hemos considerado la domesticación y la civilización como dos de los principales triunfos de la humanidad. Se afirma que el control de los procesos naturales de la vida vegetal y animal confiere a la especie humana la posibilidad de controlar la naturaleza para satisfacer sus intereses y necesidades. En años recientes, sin embargo, la ecología y la biología han revisado esa argumentación y, como resultado, la domesticación ha perdido buena parte del heroísmo que se le atribuía. Por otra parte, la larga cadena de éxitos de la civilización ha venido a culminar en la amenaza de la destrucción nuclear. La promesa decimonónica del progreso ha desembocado, cien años después, en sobrepoblación y miseria económica generalizadas. Cada día resulta más difícil imputar todo ello al deseo, al la intención y a la planificación deliberada de los seres humanos. No cabe ya duda de que la evolución de la biosfera nunca ha estado bajo control humano. La capacidad humana de desencadenar crecientes flujos de energía no se equipara, en modo alguno, con la escasa habilidad de controlar los flujos subsecuentes. Pareciera que los seres humanos hemos concentrado nuestra atención en los procesos que prometen mayores

rendimientos, descuidando la calidad del control de los mecanismos detonadores. (Adams 2001:109)

Analizando las consecuencias del desarrollo en las últimas décadas, Adams observa correctamente que el proceso ha tendido hacia: (i) una explosión demográfica resultante de la industrialización; (ii) una reducción de la biodiversidad (la agricultura industrializada barre con ecosistemas enteros), contaminación generalizada y agotamiento de los recursos estratégicos (suelo, agua, bosques, petróleo...); (iii) una reducción de la diversidad cultural imponiendo patrones uniformes sobre comunidades que antes eran diversas (lo que también implica una pérdida de los conocimientos tradicionales sobre los ambientes locales) o directamente implementando genocidios, de manera reiterada; (iv) mayor diferenciación en la calidad de vida entre los pequeños grupos privilegiados y las masas explotadas; (v) flujos de energía y complejidad crecientes, en donde el incremento del consumo de energía *per cápita* ha traído emparejado un asombroso incremento de la ineficiencia energética (despilfarro de recursos). (Adams 2001:348-350)

Dadas las consecuencias aparentemente destructivas y desagradables que acabamos de enumerar, podemos preguntarnos porqué ha tenido lugar el desarrollo. Esta es, desde luego, la misma pregunta que se planteó en la discusión sobre la domesticación, pero ahora puede formularse de nuevo en dos diferentes niveles: el de la dinámica energética, y el de la motivación. En el primer caso, la respuesta reside en el hecho de que la expansión de la población y el flujo de energía no-humana se ajustan al principio de Lotka. Ambos fenómenos seguirán ofreciendo ventajas para la supervivencia mientras haya disponibilidad de energía libre. [...] La motivación humana para la expansión constante [...] la idea del desarrollo persiste en el nivel de las motivaciones porque beneficia al sector de la población que tiene la capacidad estratégica para decidir si debe o no procurarse. (Adams 2001:350-351)

El principio de Lotka (tal y como es interpretado por Odum) es lo que explicaría nuestro inevitable progreso hacia la catástrofe. Adams enfatiza que dicho principio es condicional, las ventajas que se obtienen maximizando el consumo de energía sólo podrán sostenerse mientras exista un abundante suministro energético. A diferencia del tecno-optimismo de Ribeiro, Adams —quien escribe unas décadas después que el primero, ya que la humanidad ha atestiguado Chernobyl y otras consecuencias imprevistas— comprende que la disponibilidad de energía marcará los límites del proceso de crecimiento exponencial, centralización del poder y maximización del consumo energético. Además, Adams considera que la resistencia de los propios humanos a ser dominados haría demasiado inestable un “gobierno único y todopoderoso sobre la faz de la Tierra”, idea que resulta lógicamente como extrapolación final del proceso descrito (Adams 2007:246). El agotamiento de los recursos estratégicos puede conducir a una catástrofe total —con guerra de destrucción masiva incluida— o, en el mejor de los casos, llevará a las elites del mundo a darse cuenta de que es necesario frenar el crecimiento. En este último caso, los centros que acumulan el poder de decisión en el mundo tendrían que asumir la difícil tarea de frenar el impulso ciego de las masas a continuar reproduciéndose exponencialmente. Esto será necesariamente así dado que, según Adams, el sistema humano:

es una estructura de insumo-producto construida inherentemente para buscar la expansión. Esta característica inherente debe ser reconocida, porque si se afirma que constituye un elemento trivial y fácilmente controlable del todo estaremos evitando enfrentar uno de los principales problemas que se nos presentan. En lo fundamental, la única solución que encontró la especie frente al problema de la supervivencia fue la de continuar la expansión. Ésta no ha sido una simple decisión racional, sino más bien una infinidad de decisiones racionales que contribuyeron de manera acumulativa al proceso. ¿Pudo la especie, en algún momento, alcanzar un estado constante [estable]? La respuesta es que no, nunca lo ha hecho. Hubo muchas sociedades en las que las restricciones del ambiente, por lo general la limitación de los insumos necesarios, dieron

como resultado una serie de desastres memorables. Éstos fueron seguidos por la adopción, racional o inconsciente, de un número suficiente de mecanismos de control que lograron que la población y el insumo energético se mantuvieran en un estado constante fluctuante [metaestable]. Pero la especie en su totalidad nunca lo logró; en general sucedió en aquellas sociedades que no pasaron por la expansión vertical. Algunas de ellas sobreviven hoy en lugares donde el mismo ambiente impuso serias restricciones sobre los insumos potenciales. Así la Australia central y la cuenca del Amazonas sostienen una población en delicado equilibrio ecológico, pero tienen serias restricciones para la continua expansión, que no pueden resolverse con la tecnología conocida en la actualidad.

A partir de esto tendríamos que deducir que el hombre sólo llegará voluntariamente a un estado constante para toda la especie si de alguna manera los centros superiores de toma de decisiones experimentan una catástrofe directa que les demuestre que continuar la expansión sólo puede dar lugar a sufrimientos y colapsos similares. Sobre esta base podrían decidir, de manera colectiva, imponer restricciones sobre la expansión. O puede ocurrir que el mundo sufra un desastre de tales proporciones que sea visible por doquier y reconocido como producto de la expansión excesiva. Si esto llegara a ocurrir, es posible que los centros de toma de decisiones a todos los niveles arribaran a su propia decisión racional de que se hace necesaria la limitación del crecimiento. Ninguna de estas alternativas resulta atractiva. La primera presupone la presencia de gobiernos todopoderosos que posean los controles y el poder necesario para obligar y coaccionar a cada unidad subordinada para que restrinja sus propias actividades. Desde luego, sería difícil lograr esto de manera equitativa, e inevitablemente resultaría en la diferenciación de la sociedad mundial entre varios niveles de riqueza y pobreza continuas. La segunda alternativa presupone una guerra de destrucción masiva con todas las desastrosas consecuencias sobre las cuales se especula hace tiempo. No sólo debería ser una tragedia espantosa, sino que también tendría que

tener el alcance suficiente como para afectar profundamente a todos los que, en potencia, toman las decisiones. Es decir, si sólo exterminase a las tres cuartas partes de la humanidad, nadie podría evitar que la cuarta parte restante iniciara nuevamente la expansión. Para que esta alternativa de destrucción sea efectiva, tendría que golpear en todas partes con la misma intensidad. Los sobrevivientes tendrían que quedar profundamente impresionados por la magnitud y las causas del desastre. (Adams 2007:244-245)

Dada la importancia fundamental que tiene en su explicación de la evolución social humana, Adams se sorprende por la “extraña recepción” que ha tenido el principio de Lotka en la comunidad científica: los biólogos no lo han aceptado y los antropólogos lo han ignorado campalmente (Adams 2001:79). Hoy en día, sin embargo, otros autores también están utilizando argumentos termodinámico-evolutivos para explicar una dinámica semejante a la que describe Adams.

Aunque no lo mencionan, en *La Termodinámica de la Vida*, Schneider y Sagan parecieran citar textualmente a Adams cuando dicen que “la tendencia humana de la tribu al reino, a la nación-Estado y a la alianza supranacional no es individual sino colectiva” (Schneider y Sagan 2008:351). Bajo el principio de que “con el paso del tiempo, la integración funcional tiende a evolucionar hacia niveles cada vez más altos, o al menos más inclusivos” los autores explican que “a otro nivel de consolidación de «individuos» en grupos con economías de escala, los animales dieron lugar a colmenas de abejas, manadas de lobos, bandadas de aves, ejércitos de hormigas, termiteros y seres humanos con economías globales” (Schneider y Sagan 2008:349). Los autores explican que la integración de sistemas más y más complejos en la evolución biológica y social responde al imperativo termodinámico de disipar más y más energía:

Darwin atribuyó el progreso de la vida a través de la división del trabajo, que los teólogos naturales habían adscrito a armonías de orden superior, a la lucha por el éxito individual. Sin embargo, el incremento del número y diversidad de organismos deriva más directamente de la disponibilidad de

energía. El imperativo termodinámico proporciona a los individuos, en cuanto sistemas abiertos, un incentivo para organizarse en entidades de orden superior, energéticamente más eficientes. En otras palabras, la diversidad, la especialización profesional dentro de una economía progresiva y la estratificación en general pueden refinarse por selección natural, ejercida no sólo sobre individuos reproductores a varias escalas, sino también sobre comunidades que, como las moléculas de las células de Bénard, se organizan para prestar mejor el servicio exigido por la naturaleza: la reducción efectiva de gradientes. La variación ofrece nuevas posibilidades, y la selección natural las poda para labrar sistemas potentes adaptados a un entorno dado. Con todo, el móvil original (arreglárselas para disipar energía de la manera más eficiente posible con los materiales disponibles) es el de la segunda ley. Antes que intervenga la selección natural, la segunda ley «selecciona», de entre las distintas opciones cinéticas, termodinámicas y químicas, aquellos sistemas más capaces de reducir gradientes, dadas ciertas condiciones. (Schneider y Sagan 2008:308)

Extendiendo el aforismo con que sintetizan la segunda ley de la termodinámica —diciendo que *la naturaleza aborrece los gradientes*—, dicen que “la tendencia natural a la reducción de gradientes, trasladada a la esfera económica humana, está detrás de la transformación del planeta en lo que el teórico de la comunicación McLuhan llamó la «aldea global»” (Schneider y Sagan 2008:351).⁶⁶ Si de por sí, a lo largo de su libro, Schneider y Sagan dejan muchos cabos sueltos y puntos sin aclarar, al aplicar sus ideas a la evolución de los sistemas económicos y políticos, los autores se limitan a hacer comentarios sugerentes pero demasiado vagos, recurriendo excesivamente a un lenguaje metafórico y

⁶⁶ Hablando sobre los “inexorables efectos globalizadores de las telecomunicaciones modernas” señalan que “la red de datos dispersos de las sociedades humanas tiende a condensarse y parecerse cada vez más a los órganos sensoriales y de discernimiento de un sólo ser” (Schneider y Sagan 2008:351).

aforístico. La referencia a McLuhan y su “aldea global” sugiere que los autores ven con optimismo el proceso de la globalización, sensación que se refuerza con otros comentarios a lo largo del texto. Sin explicitar del todo su postura, sugieren analogías entre la evolución de ecosistemas y la sucesión ecológica con: el paso de “culturas simples” hacia formas más complejas (Schneider y Sagan 2008:348); desde meros intercambios materiales hasta la aparición de mercados y “economías plenamente desarrolladas” (Schneider y Sagan 2008:344); desde formas de organización “primitivas y autoritarias” hacia formas menos jerárquicas y con una redistribución de los recursos más equitativa (Schneider y Sagan 2008:348); etc. En una postura que parecería más cercana a la utopía de liberación a través del incremento de disponibilidad de energía de Riveiro —aunque en versión de “capitalismo democrático”— señalan que “la relativa abundancia permite una mayor libertad individual” (Schneider y Sagan 2008:348). Lo que preocupa a estos autores es que, dado el inminente corte del suministro de energía por agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, el progreso económico-político vaya a sufrir una reversión forzada hacia formas premodernas y autoritarias. “La menguante energía de nuestra economía basada en petróleo puede estar a punto de dejar tirado lo que queda de la civilización en medio de la carretera de lo que pasa por progreso” (Schneider y Sagan 2008:347). “En el presente, para que la sociedad humana global se encuentre resguardada frente al inquietante potencial de algunos para restaurar la mentalidad medieval, será necesario que nos liberemos de la dependencia del petróleo” (Schneider y Sagan 2008:356).

existe un inquietante vínculo entre los ecosistemas estresados y la economía global. [...] En tiempos de escasez de energía es más probable que surjan jerarquías represivas y conformistas, tan objetables moralmente como efectivas en la asignación de recursos limitados.

Tales jerarquías, marcadas por el liderazgo maquiavélico, el control vertical y hasta el sacrificio sangriento de los “inadaptados” parecen la encarnación del mal. Sin embargo, desde una perspectiva termodinámica, son naturales. [...] Los flujos de energía reducidos pueden imponer severas

presiones sobre los individuos que dependen de ellos. En el caso humano, esto tiene repercusiones políticas desagradables. La construcción de organizaciones colectivas dictatoriales o mercantilistas conlleva la destrucción de las libertades individuales. La vida es un sistema termodinámico complejo, no un paradigma de virtud. Los orígenes de la tendencia a conformarse y pertenecer a un colectivo, a someterse e integrarse en una totalidad mayor, van más allá del totalitarismo o la ideología humana, y se adentran en las raíces energéticas de los sistemas biológicos estresados. (Schneider y Sagan 2008:357-358)

“Pese a toda nuestra grandiosidad, sin medios estables de degradación energética nuestras civilizaciones están destinadas a derrumbarse” (Schneider y Sagan 2008:374). La “revolución termonuclear” que hacía soñar a Ribeiro ya no es fuente de grandes esperanzas para estos autores, pero ellos sostienen la esperanza en soluciones ultratecnológicas que parecieran salidas de una novela de ciencia ficción. De acuerdo con lo que sugieren estos autores, nuestra mejor esperanza, si queremos conservar las libertades individuales y la civilización a largo plazo, radica en que encontremos fuentes de energía que no se agoten como el petróleo: quizás podamos cultivar bacterias fotosintéticas para la producción barata de hidrógeno combustible (Schneider y Sagan 2008:359); quizás algún día logremos aprovechar la fuerza de gravedad como fuente de energía (Schneider y Sagan 2008:81-82), o quizás en el futuro nuestros descendientes, con una “inteligencia superior” o “mejores técnicas”, sean capaces de recuperar la energía perdida como entropía (Schneider y Sagan 2008:99).

Otro autor en esta misma línea que mencioné también en el Capítulo 2 es Carsten Herrmann-Pillath (2013). Su *Foundations of Economic Evolution* sí constituye un monumental esfuerzo por armar un marco teórico sistemático, explícito, riguroso y congruente —más allá de las metáforas sugerentes— que explique, con bases termodinámicas y evolutivas, el desarrollo económico y el crecimiento de las sociedades industriales. Al igual que Adams, Herrmann-Pillath pone el principio de Lotka (entendido como *Maximum Power Principle* o MPP) en el centro de la explicación:

I analyze technology against the background of the general conceptualization of the Earth System. The upshot is an energetic theory of economic growth, [...] I argue that economic growth is the expression of the Maximum Power Principle (in terms of extensions proposed by Geraat Vermeij). In this context, it is important to recognize the fact that technological change on the secular scale has always been strongly driven by military factors, thus establishing a deep connection between technological and institutional evolution. I illustrate this point by means of what is certainly one of the most important stages in human history, the Industrial Revolution [...] This interaction between institutions and technology converges in the emergence of different production regimes, which in turn relate with phase transitions in the evolution of global network connectivity of human societies, reaching from primordial group structures to large scale groups of agricultural societies and eventually to the modern globalized societies. (Herrmann-Pillath 2013:xxix)

Como expuse en el Capítulo 2, Herrmann-Pillath toma el *Maximum Power Principle* (el “principio de Lotka” en una interpretación cercana a la de Odum) junto con la *Constructal Law* (que dice que los sistemas evolucionan hacia formas más complejas para disipar mejor la energía) y el *Maximum Entropy Production Principle* (que postula que los ecosistemas y la biósfera sí se estabilizan, pero en el estado de máxima producción de entropía) para explicar que la evolución biológica en general, y la evolución humana en particular, avanzan necesariamente hacia la maximización de la producción de entropía. De este modo, no es que las economías humanas, con su acelerado crecimiento económico-industrial, estén *perturbando* el equilibrio del Ecosistema Global (el “sistema Gaia”), sino que la biósfera misma evoluciona hacia estados cada vez más alejados del equilibrio termodinámico, incrementando la disipación y la producción de entropía. En este sentido, el acelerado crecimiento de las economías industriales más bien *ayuda* a la biosfera a cumplir su objetivo fundamental: incrementar la disipación y la producción de entropía:

On the most fundamental level, I interpret the human economy as a natural phenomenon by which the Earth System increases its capacity to dissipate energy and thus to achieve states that are further away from equilibrium. This deeper physical aspect of the economy is becoming more and more visible in the phenomenon of Global Warming. This book does not provide an answer to solving these challenges to the human species and the survival and entire ecosystems [sic]. However it is obvious that responses need to be multi-dimensional, affecting all aspects of human behavior and social interaction... (Herrmann-Pillath 2013:xxxi)

Como discutí en el Capítulo 2, en la interpretación termodinámica que hace Herrmann-Pillath sobre la evolución biológica, el hecho de que la maximización de la producción de entropía pueda conducir a la autodestrucción de las entidades maximizadoras (organismos, sociedades, ecosistemas, etc.) no parece contradecir su teoría: *el proceso de muerte y desintegración continúa incrementando la entropía* (ver Herrmann-Pillath 2013:112). No sorprende que, desde esta teoría, el autor no ofrezca una respuesta para solucionar los desafíos actuales que enfrenta la especie humana.

Tanto Herrmann-Pillath, como Schneider y Sagan coinciden con Adams en interpretar que, como sistemas disipativos, los seres vivos en general y los seres humanos en particular tienen la “función” de incrementar la disipación de energía y la producción de entropía en el mundo —“fomentar el caos”, en el florido lenguaje de Schneider y Sagan—. En palabras de Herrmann-Pillath:

the Constructal Law offers the conceptual way to unify the two notions of evolution, in the sense of evolving structural complexity, and the Second Law, in the sense of increasing entropy: The Constructal Law states that evolving structural complexity is a means to dissipate energy at a maximum rate. (Herrmann-Pillath 2013:117)

En palabras de Sagan y Schneider:

un sistema complejo cumple de manera más efectiva el objetivo natural de producir entropía que un sistema simple y menos organizado (Schneider y Sagan 2008:20)

En palabras de Adams, las estructuras disipativas “obedecen a la segunda ley actuando como mecanismos continuos de conversión de energía en entropía”:

Es como si la naturaleza, insatisfecha con el ritmo de trabajo adoptado por la segunda ley para llevar a cabo su tarea, impaciente con la estólida estabilidad y la negativa de los objetos en equilibrio a perder energía con más rapidez, hubiese decidido inventar una estructura que se dedicara a apresurar la conversión de otras formas de energía. (Adams 2007:208)

Es así como la aparente construcción de orden que observamos en las estructuras disipativas también puede ser vista como formas de apresurar el funcionamiento de la segunda ley mediante la conversión de más energía en entropía... (Adams 2007:209)

Parecería, pues, que la “aparente construcción de orden” que intentó la humanidad con la civilización en realidad cumplía el propósito de acelerar la producción de entropía.

Aunque con sus diferencias, estos autores ofrecen interpretaciones semejantes sobre la historia de la humanidad: coinciden en ver que la evolución hacia sociedades más y más grandes (en términos de población y de alcance territorial) y complejas (en términos políticos y tecnológicos) es una expresión de la segunda ley de la termodinámica, la cual marca una direccionalidad necesaria para el proceso evolutivo. El “imperativo termodinámico” de producir más entropía ha llevado a la evolución biológica y social humana hacia formas de vida en que se consume cada vez más energía, cada vez más rápido, incrementando con ello la tasa de producción de entropía a escala global. La crisis ecológica global —entendida como una crisis biológica resultante del acelerado incremento de la entropía— es un resultado natural de dicho proceso. Considerando el fatídico

desenlace y la sensación de inevitabilidad es que me refiero a esta postura como la interpretación fatalista de la evolución.

El entusiasmo mostrado por la articulación de un nuevo marco integrador contrasta con el pesimismo de las conclusiones a las que llegan todos estos autores. Reintegrar conceptualmente a los humanos en la dinámica evolutiva de la naturaleza, bajo los términos aquí planteados, implica reinterpretar el “progreso” evolutivo como una dinámica potencialmente suicida, conduciendo inevitablemente a una profunda desestabilización de la biosfera. La única salida “optimista” concebible en este marco sería continuar la expansión encontrando nuevas fuentes de energía para seguir incrementando la producción de entropía. Para algunos, este planteamiento conduce a pensar que el progreso de la humanidad debe continuar en el espacio exterior, donde existen enormes fuentes de energía, sin importar si la Tierra resulta devastada en el proceso. Hay quienes ven esto también con entusiasmo (más adelante retomo este punto). Otros vemos en esto último nada más que una fantasía de omnipotencia humana igualmente suicida.

En los siguientes apartados presentaré una interpretación distinta, basada en la discusión sobre la direccionalidad de la evolución biológica que ya desarrollé en el Capítulo 2. Ahí donde Adams se pregunta el por qué del “extraño recibimiento” que ha tenido el principio de Lotka en la comunidad científica, yo encuentro motivos de esperanza. Si los biólogos han rechazado el “principio de Lotka”, es porque la reinterpretación de Odum es equivocada y no coincide con lo que se sabe sobre la necesaria economía de los procesos evolutivos. La lógica de la “ventaja competitiva del maximizador” termina contradiciendo la lógica básica de la selección natural si resulta que dicha “ventaja competitiva” acaba siendo la razón de la autodestrucción de poblaciones enteras. Evidentemente es posible —y pueden citarse numerosos ejemplos— que poblaciones enteras se autodestruyan por sobreconsumo y destrucción de los ecosistemas de los que dependen pero, por selección natural, la tendencia debería ser precisamente la opuesta: que los que sobrevivan sean los que no maximizan destruyendo las condiciones de su propia continuidad como seres vivos. Postular la maximización como “ley de la

evolución” es tanto como tomar un ejemplo de fracaso adaptativo y postularlo como modelo general de éxito evolutivo. Creo que es precisamente por esa razón que algunos investigadores han adoptado dicha explicación, porque permite explicar como si fuera resultado de una ley natural un episodio de la historia (la dinámica expansionista de complejización e incremento acelerado de consumo energético de la civilización industrial moderna) que de otro modo parecía contradecir las leyes naturales. Y considerando el pesimismo que implica ver dicho desarrollo como consecuencia inevitable de las leyes naturales, no me sorprende tampoco que los antropólogos hayan sentido poco interés —cuando no un abierto rechazo— en estudiar y adoptar dicha perspectiva. De acuerdo con Leonardo Tyrtania:

En alguna parte de su vasta obra, Ilya Prigogine discrepa abiertamente del uso que el doctor Adams hace de su concepto de *estructura disipativa*. El problema radica en que la hipótesis del estado estable —fundamental para el entendimiento de dicha estructura en la física—, es una “hipótesis muy pobre” para el estudio de la sociedad. La diferencia entre los sistemas disipativos físicos descritos por Prigogine y los sistemas disipativos sociales estudiados por Adams, es que estos últimos “no muestran nada inherente a su estructura que los obligue a permanecer en estado estable” ni tampoco —como dirían los funcionalistas— en “equilibrio dinámico”. (Tyrtania 2001:14-15)

Tendríamos que postular otra tesis de excepcionalidad para decir que las sociedades humanas son el único sistema disipativo que no se caracteriza por instalarse en estados estables. Adams parece optar por una interpretación así para, según esto, hacerlo compatible con el “principio de Lotka”. Sin embargo, considerando el amplio análisis del trabajo de Alfred Lotka que presenté en el Capítulo 2, sostengo que su principio ha sido malinterpretado, y que Lotka también discreparía abiertamente con la interpretación fatalista. Modificando nuestra comprensión de la naturaleza, se modifica el cuadro en el que debemos reinsertar al ser humano. Modificando los principios con los que entendemos la evolución, se

modifican las conclusiones a las que podemos llegar al analizar la historia humana y el desarrollo de la crisis ecosocial global.

3.2.3. Los “grandes relatos”

Nuestros esfuerzos colectivos dependen de la manera en que entendemos nuestra historia, de dónde venimos, a dónde vamos: todo proyecto humano se sitúa dentro de algún contexto —alguna visión del mundo y de nosotros mismos— en el que dicho proyecto tiene sentido. Los grandes proyectos, que pueden coordinar el esfuerzo de millones de personas a través de generaciones y generaciones, están basados en grandes relatos. Hay muchas maneras en que podemos contar nuestra historia, accediendo a distintas fuentes, considerando distintos elementos y con diferentes objetivos. En el mar de la diversidad cultural, hay mil corrientes distintas, mil relatos que apuntan hacia diferentes destinos. La tarea de la historia, como ciencia, debe situarse en el contexto de este amplio diálogo intercultural, buscando puntos de anclaje que otorguen solidez a nuestros relatos —o, por el contrario, nos inviten a modificarlos—; sin ésta búsqueda continua los proyectos humanos estarían navegando a ciegas en un mar de geografías imaginarias. Claro está que todo relato histórico obedece a las preguntas, inquietudes, anhelos y formas de ver el mundo de quienes construyen dichos relatos, los cuales varían de tiempo en tiempo. En ese sentido, la investigación histórica constituye un continuo cuestionamiento y reformulación de los relatos, actualizándolos según cambian las perspectivas y con los nuevos elementos que el presente nos arroja.

El relato del “progreso de la humanidad” ha sido fundamental para sostener el proyecto civilizatorio moderno. Se entendía que dicho relato era, por primera vez, uno que estaba basado en la ciencia y no en el dogma o la superstición. Las bases científicas que supuestamente lo sustentaban eran precisamente el argumento que garantizaba el éxito del proyecto: el progreso como dominación científica de la naturaleza y construcción de la utopía racional humana. Hoy en

día, en las líneas del pensamiento posmoderno se ha deconstruido dicho relato y se ha argumentado que la ciencia objetiva es imposible. Se ha anunciado “el fin de los grandes relatos” como el fin de una era de ingenuidad en la que creíamos que podíamos encontrarle un sentido al mundo, a la vida, a nuestra existencia, más allá de nuestras construcciones sociales arbitrarias y provincianas. En el contexto del relativismo posmoderno, el diálogo entre las “culturas” (como si hubiera un mosaico de culturas) ha llegado a parecer imposible: cada grupo ve el mundo de una manera fundamentalmente distinta, cuenta su propia historia y construye el sentido de sus vidas como si flotaran en el vacío, y no hay manera de tender puentes que comuniquen una “realidad” con otra. Más que a un supuesto respeto de los derechos culturales en el marco del multiculturalismo, el relativismo posmoderno parece conducir hacia un “choque de civilizaciones” a la Huntington. Si cada grupo humano construye su “realidad” —en la que cada uno se siente “el centro del universo”— y todas son fundamentalmente equivalentes, entonces lo único que queda es defender la propia contra el resto y ganará “quien tenga el garrote más grande”, como dicen Berger y Luckmann (1966). Perdiendo el anclaje con la “realidad real”, se pierde también la posibilidad de tender puentes entre los mundos humanos, como si fueran islas flotando sobre las nubes: se cancela la posibilidad de hacer ciencia lo mismo que la posibilidad de un auténtico diálogo intercultural.

En vez de renunciar a la ciencia y al diálogo intercultural —que en realidad son una misma cosa⁶⁷— el contexto de la crisis actual debe impulsarnos a un enorme esfuerzo colectivo por repensar los grandes relatos con que orientamos nuestra acción en el mundo, las consecuencias que nuestros proyectos están teniendo sobre el mundo, la viabilidad de dichos proyectos, su pertinencia y

⁶⁷ La ciencia moderna no es propiedad de Occidente, incontables descubrimientos fueron asimilados de otras culturas o desarrollados por comunidades interculturales, la ciencia tampoco es exclusiva de la modernidad, todo pueblo acumula conocimiento obtenido mediante experiencia empírica en sus particulares marcos cosmológicos. Compartir experiencias entre distintas culturas permite contrastar descripciones, modelos explicativos y marcos cosmológicos. La antropología, particularmente, ha entendido que entablar un diálogo intercultural (como una metodología horizontal en vez de una etnografía asimétrica) es hacer ciencia.

justificación, así como los posibles cambios de rumbo. No sólo es más urgente que nunca, sino también tenemos las mejores herramientas para lograrlo: la comunidad científica nunca había sido tan amplia y diversa, los medios de comunicación tan amplios e incluyentes, la información disponible tan amplia y accesible, etc. En vez de tomar el presente estado de confusión teórica, filosófica y cosmológica como el nuevo estado permanente y el “fin de la historia”, conviene verlo como fase e indicador de una “revolución científica” y “cambio de paradigma” como los que estudiaba Thomas Kuhn (1962). En estos momentos, resulta útil y natural el surgimiento de una diversidad de propuestas buscando dar sentido nuevamente a la historia. No es que los “grandes relatos” sean ya cosa del pasado: necesitamos urgentemente armar uno nuevo (y así lo están haciendo algunos autores actualmente bajo la idea de una *Deep History*). En este contexto me sitúo, discutiendo algunos puntos clave que modifican sustancialmente el “gran relato” del progreso —con todas las limitaciones que dicho intento necesariamente implica—.

Asociados a los grandes proyectos de dominación política y cultural, los “grandes relatos” se han considerado como un ejercicio discursivo totalizante y opresor, supresor de la diversidad y legitimador del imperio en alguna de sus variantes. Sin embargo, los grandes relatos son naturales y necesarios para articular la vida social humana. La profunda crisis de sentido que se vive en la actualidad —cuando los grandes relatos que hay a la mano resultan poco convincentes— se expresa en todos los niveles de la vida social humana: desde nuestras vidas personales hasta la inestabilidad del orden político internacional. La propuesta que aquí intento esbozar, como se verá a continuación, no busca ser monológica sino dialógica; no busca suprimir la diversidad sino, al contrario, plantear un marco en el que la diversidad epistémica sea comprensible y el amplio diálogo que es urgente en la actualidad pueda ser facilitado. Y si bien este gran relato incluye elementos que apoyan ciertos proyectos humanos y argumentos en contra de otros, el objetivo final no es imponer una “única verdad” por encima de las creencias de otros grupos, imponiendo una forma de actuar y cancelando la autonomía de las diversas unidades sociales; al contrario, el objetivo es plantear

un marco en el que la diversidad cultural y la autonomía política se postulan como valores intrínsecos, fundamentales, irrenunciables.

3.2.4. Historia y evolución

Además de intentar construir un relato que sea congruente con los datos obtenidos por las ciencias empíricas —como la arqueología, la paleontología, la ecología evolucionista, la geología, la cosmología, etc.— entender la historia humana en términos de “evolución” implica asumir una postura “naturalista”. Encontramos nuevamente la misma escisión entre la llamada “historia natural” y la historia de la humanidad, como si se tratara de dos relatos separados que operan bajo reglas distintas. Una de las maneras en que se ha trazado la línea es precisamente diciendo que, ahí donde la historia natural obedece ciegamente leyes deterministas (*res extensa*), la historia humana se construye por la acción de sujetos históricos, guiados por una intención, un propósito (*res cogitans*). La idea de que la historia humana pueda explicarse a partir de una “ley natural” despierta los temores de vernos reducidos a la calidad de autómatas ciegos y exodeterminados. Esta distinción está trazada con referencia a la visión del mundo newtoniana —donde hay un universo-máquina completamente determinado— de la cual sentimos, naturalmente, que es preciso separarnos para poder considerarnos como sujetos intencionales. Una mejor solución, sin embargo, es abandonar por completo la idea del universo mecanicista, y tomar los modelos contemporáneos de evolución del universo, como he discutido en los capítulos precedentes.

En *Elements of Physical Biology*, Lotka dedica algunas páginas a discutir la relación entre los conceptos de “historia” y “evolución”.

...if we seek to analyze what is in our minds when we speak of the evolution of a given system, we find —and on this probably all are agreed— that the fundamental, the central thought, is that of the history of the system. But the concepts of the history and of the evolution of a system, though related, are

not identical [...] The popular and also the scientific conception of evolution contains as an essential feature the element of progress, of development. We would not ordinarily class as evolution the history of such a system as a swinging pendulum, or a celestial body circling in its orbit, *in so far as this motions are purely periodic or cyclic*. In the history of such systems the element of progression in time, of development, is lacking. They repeat in endless succession the same series of events [...]

But, to characterize the kind of history we speak of as evolution, it is not enough that each day be unlike every other [...] Evolution is not a mere “changeful sequence” [...] For if the world’s events taken in historical order *A, B, C, ...* are a changeful sequence, the same is also true of the inverted series *... C, B, A*. Mere unlikeness of two days is insufficient to tell us which is antecedent to the other. (Lotka 1925:21)

Aquí, Lotka está distanciándose de los modelos clásicos del *perpetuum mobile* newtoniano en los que se suponía que el universo físico operaba como un gran mecanismo de relojería, siguiendo al pie de la letra las leyes eternas e invariables dictadas por Dios en el inicio de los tiempos. Estos modelos idealizados, de hecho, ni siquiera describen bien el movimiento de los astros o el de un péndulo:

In actual fact the motion of the pendulum gradually dies down, owing to friction and other dissipative forces. The motion is not strictly periodic. [...] So also, the earth in its motion is slightly delayed by frictional forces introduced by the tides; it slows down a little as the centuries pass. [...] The process has a definite direction in time. We feel justified in speaking of the system as “evolving”. Now the thing to mark is that what has imparted to the process its directed character is frictional resistance, dissipative forces, typical *irreversible* effects, to speak in the language of the physics. (Lotka 1925:22)

Contrastando estos dos modelos, el de un movimiento cíclico en el que el tiempo sólo consiste en un aumento del número de repeticiones idénticas y otro en el que el tiempo implica la ocurrencia de fenómenos cualitativamente nuevos, puede

verse la relación entre direccionalidad e irreversibilidad. En este sentido, Lotka afirma que, después de todo, “toda historia *real* es siempre evolución” (1925:26). Los modelos newtonianos son una idealización que no describe el mundo real, todos los fenómenos en el universo son siempre, en realidad, irreversibles.

Having recognized that evolution, so understood, is the history of a system in the course of irreversible transformation; we at once recognize also that the law of evolution is the law of irreversible transformations; that the direction of evolution [...] is the direction of irreversible transformations. And this direction the physicist can define or describe in exact terms. For an isolated system, it is the direction of increasing entropy. The law of evolution is, in this sense, the second law of thermodynamics. (Lotka 1925:26)

Como ya expuse, más allá de los sistemas aislados —que también son una idealización virtualmente inexistente—, la segunda ley de la termodinámica ha pasado a considerarse como un referente fundamental para entender la evolución general del mundo físico y biológico. Sin embargo, la idea de “ley natural” ha atravesado diversas modificaciones. Ya desde la formulación de Boltzmann la segunda ley fue descrita en términos probabilísticos, lo que implicaba considerar la intervención del azar. En tiempos de Lotka todavía se consideraba que dicho “azar” era en realidad una expresión de nuestra ignorancia, pero que la naturaleza era fundamentalmente determinista. En los modelos de Prigogine, en cambio, se considera que la indeterminación es una propiedad fundamental de la naturaleza. Ahí donde los modelos para sistemas aislados pueden predecir con bastante exactitud la evolución del sistema hacia el equilibrio termodinámico, los modelos de la termodinámica de sistemas alejados del equilibrio plantean una situación muy diferente: es imposible predecir los estados futuros de un sistema alejado del equilibrio, en cuya evolución pueden observarse sorprendentes patrones de autoorganización. La materia física exhibe una “libertad” (indeterminación) y “creatividad” (autoorganización) que antes se creían propiedades exclusivas de un supuesto mundo espiritual.

Después, como expuse, los seres vivos han sido también exitosamente comprendidos como sistemas disipativos, avance que ha permitido entender la continuidad entre la evolución del mundo físico y la evolución biológica. El modelo de sistema autopoietico descrito por Maturana y Varela puede plantearse como un subconjunto de los sistemas disipativos descritos por Prigogine. Maturana y Varela insisten igualmente en la autonomía fundamental del ser vivo, cuyo operar no puede ser determinado por el ambiente. Como he argumentado, resulta más adecuado tratar de entender su comportamiento en términos de intencionalidad —mantener su autopoiesis— y de una interacción cognoscitiva con el ambiente. La segunda ley de la termodinámica establece las reglas del juego y los límites de lo posible, dentro de los cuales los seres vivos actúan autónoma e impredeciblemente, desarrollando respuestas creativas y originales. Con esta nueva comprensión de la naturaleza, no es necesario plantear ninguna ruptura ontológica, con lo que obtenemos un mejor punto de partida para intentar entender la historia humana como parte de la historia natural.

3.2.5. Progreso y direccionalidad

Al revisar la historia de la humanidad en términos evolucionistas, voy a abordar únicamente algunos puntos que permiten discutir lo que entendemos por “progreso” y la direccionalidad de la evolución. Para hacerlo, conviene distinguir ambas discusiones que, aunque interrelacionadas, tratan de aspectos distintos que —como se observa en la interpretación fatalista— pueden o no coincidir.

Abordaré la discusión sobre el “progreso” entendido como dirección de “mejoramiento”. Discutir esto implica definir qué se entiende por “mejoramiento” y hacer explícito mejoramiento *para quién* (el mejoramiento se define con referencia a los intereses particulares de alguien). Postular una dirección de progreso como mejoramiento no implica necesariamente que la evolución del universo o de la vida se dirigen inevitablemente en esa dirección, como si fuera una tendencia natural. En cambio, para discutir la “direccionalidad” del proceso evolutivo la cuestión es

discutir si existen principios generales que describan una tendencia natural: algún patrón general discernible que permita entender hacia dónde van las cosas más allá de las historias particulares. Postular una direccionalidad no implica necesariamente que dicha tendencia conlleve ningún “mejoramiento”, puede describirse con independencia de nuestros intereses particulares. Teniendo esta distinción en mente, discuto con dos ideas distintas. Por un lado, la idea de que el surgimiento de la civilización —la evolución desde formas de organización social simples a complejas— sea igual a progreso, es decir, que deba entenderse como un proceso de *mejoramiento*. Por otro lado, la idea de que el surgimiento de la civilización responda a una direccionalidad de la evolución —desde las formas de organización social simples hacia las más complejas— como si se derivara *necesariamente* de alguna ley natural. Más concretamente, me opongo a dos argumentos:

- Que los sistemas más complejos siempre tienen “ventaja adaptativa” o “ventaja competitiva” sobre los simples —argumento de teoría general de la evolución [TGE]— por lo que, por obra de la selección natural, veremos que surgen sociedades más y más complejas que serían, según este argumento, más y más “aptas para la supervivencia”.
- Que la segunda ley implica la aparición de sociedades más y más complejas porque éstas cumplen mejor el objetivo natural de disipar energía y producir entropía —argumento de termodinámica de no-equilibrio [TNE]—, por lo que la complejización sería una derivación necesaria de la segunda ley.

Yo me opongo a ambas interpretaciones, que coinciden en describir un proceso que avanza *necesariamente* desde lo simple hacia lo complejo (de manera lineal o multilineal, para esta discusión da igual), ya sea utilizando un modelo de selección natural (exclusión competitiva) o uno de termodinámica de no-equilibrio (complejización hacia máxima producción de entropía). A fin de cuentas, la pregunta de investigación es la siguiente: reconociendo la evidencia (arqueológica, etc.) de un patrón común en el desarrollo de “civilizaciones” de manera

independiente y paralela en distintos lugares y momentos, ¿cuál es el modelo que utilizamos para explicar ese patrón común?

Dos argumentos utilizados para explicar evolución social simple→complejo

DISCUSIÓN	ARGUMENTO	TEORÍA
Progreso	Mejoramiento: más y más apto para la supervivencia	Teoría General de la Evolución TGE
Direccionalidad	Tendencia: más y más producción de entropía	Termodinámica de no-equilibrio TNE

La interpretación que propongo está basada en los argumentos que ya desarrollé en los capítulos precedentes. A continuación resumo algunas ideas básicas necesarias para esta discusión.

3.2.6. Resumen: discusiones sobre progreso y direccionalidad

CAPÍTULO 1. Direccionalidad en la evolución de sistemas físicos

La segunda ley de la termodinámica describe una direccionalidad general, un patrón común: los cambios de posición o de estado que podemos observar en el universo pueden describirse como resultado de la disipación de energía (o, lo que es lo mismo, la reducción de un gradiente). Esto implica que todo acontecimiento en el universo implica la disipación irreversible de energía desde formas de baja

entropía hacia formas de alta entropía. Otra forma de poner esto en palabras es decir que, en todo proceso real, la energía se disipa y la entropía siempre aumenta. Lo anterior se plantea como una tendencia natural, en sí misma no implica progreso ni mejoramiento, pues no cumple ningún propósito o finalidad.

Los modelos de termodinámica clásica sólo incluían los (idealizados) sistemas aislados, que no podían sino evolucionar predeciblemente hacia el equilibrio termodinámico. En cambio, los recientes modelos de termodinámica de no-equilibrio, describen una diversidad de maneras en que puede cumplirse la segunda ley. En el caso de los sistemas disipativos descritos por Prigogine —sistemas caracterizados por un flujo constante de energía, alejados del equilibrio termodinámico—, dependiendo de las circunstancias es posible observar una diversidad de rutas posibles, todas ellas dentro de lo permitido por la segunda ley. El flujo de energía puede dar lugar a asombrosos procesos de autoorganización en los que, de manera espontánea e impredecible, la materia adquiere elevados niveles de organización. Bajo ciertas circunstancias, con un flujo de energía constante, los sistemas disipativos pueden instalarse en estados metaestables en los que cierto patrón de organización se sostiene durante cierto tiempo, manteniendo variables dentro de ciertos márgenes (si el flujo de energía se suspende o disminuye por debajo de cierto umbral, el sistema desaparece). En ciertas circunstancias, con un flujo incrementado de energía los sistemas disipativos pueden evolucionar hacia formas más complejas. Ahí pueden alcanzar nuevos estados metaestables y mantenerlos mientras haya el flujo incrementado de energía que los sostiene. Bajo ciertas circunstancias se ha podido observar sistemas disipativos saltando de estado metaestable en estado metaestable hacia formas más y más complejas. Si los flujos de energía disminuyen, la evolución del sistema se revierte y puede instalarse nuevamente en estados de menor disipación o desaparecer. Lo importante aquí es enfatizar que hay una diversidad de caminos posibles que dependen de las circunstancias pero no pueden predecirse con exactitud a partir de las condiciones iniciales dada la indeterminación fundamental del universo físico.

La segunda ley no implica necesariamente un avance desde formas simples a complejas, esto puede darse bajo ciertas circunstancias, pero no necesariamente. La idea de que “las estructuras disipativas buscan siempre maximizar la producción de entropía” es una extrapolación que no se deriva del trabajo de Prigogine, cuyos estudios describen trayectorias de sistemas disipativos observados utilizando modelos de mínima disipación y de metaestabilidad. En todos estos modelos la entropía siempre aumenta, como dicta la segunda ley, pero la tasa de disipación puede disminuir o mantenerse constante: la segunda ley no implica que la tasa de disipación siempre deba ser la máxima o que los sistemas tiendan siempre hacia maximizarla.

CAPÍTULO 2. Direccionalidad y progreso en la evolución de sistemas biológicos

Los seres vivos —sistemas autopoieticos— son sistemas disipativos. Hasta aquí, lo que implica la segunda ley para la historia de la vida es solamente una cosa: que la vida requiere un insumo constante de energía sin el cual desaparece. Los seres vivos necesitan disipar energía de alta calidad, la cual, después de realizar trabajo, adquiere formas de alta entropía que ya no se pueden volver a utilizar. La historia de la vida puede verse como una historia del aprovechamiento —creativo, impredecible— de la energía para sostener la continuidad de la vida. Se tiende así un vínculo indispensable entre la evolución del mundo físico y la historia de la vida: sin una fuente continua de energía de alta calidad como la que nos aporta continuamente el Sol, la continuidad de la vida —incluyendo, evidentemente, nuestra propia vida— sería imposible. La historia humana, pues, no puede comprenderse correctamente si no es como parte de la historia de la vida en interacción con el ambiente físico.

Decir que los seres vivos son sistemas disipativos de ninguna manera implica aceptar que su “función” sea disipar energía. Un sistema autopoietico se define porque se produce continuamente a sí mismo, para ello requiere realizar trabajo y por lo tanto disipar energía, pero su objetivo no es producir entropía sino cumplir sus objetivos biológicos. Postular que los organismos buscan maximizar la producción de entropía tiene tanto sentido como decir que un automóvil más

“eficiente” es aquel que gasta más combustible y no aquel que cumple mejor el objetivo de transportarnos. Para armar un marco teórico integrado sin caer en errores reduccionistas es necesario comprender que la vida aprovecha los flujos de energía (que de todas maneras se disiparía) para existir y mantener su continuidad, no hay justificación para decir que los seres vivos existen “para acelerar la producción de entropía en el mundo”. Comprender el comportamiento de los seres vivos como respuesta a una intencionalidad básica por mantenerse con vida y reproducirse es un elemento fundamental y necesario para la teoría de la evolución por selección natural.

Como bien entendió Lotka (1925), de manera natural, los seres vivos buscan cumplir sus objetivos biológicos con el menor esfuerzo posible, con el menor trabajo posible, con la menor disipación posible, con la mayor eficiencia posible. Lógicamente, organismos que cumplan sus objetivos (mantenerse con vida y reproducirse) utilizando menos insumos (materiales y energéticos) tendrán ventaja competitiva con otros que requieran conseguir más (trabajar más, disipar más) para lograr lo mismo. En todo momento, las particularidades del ambiente (disponibilidad de materia y energía, etc.) y de los organismos en cuestión (estructura corporal, tipo de metabolismo, etc.) establecerán límites al desarrollo de poblaciones. Comprender que los seres vivos existen siempre en situaciones de accesibilidad limitada a los recursos necesarios (materiales, energía, etc.) para la vida también es un elemento indispensable para la teoría de la evolución por selección natural. Sin recursos limitados, no hay competencia. En términos generales, la ventaja competitiva es para los más eficientes.

Lotka dijo explícitamente que el postulado de que “la evolución avanza linealmente de los organismos simples a los más complejos” es una proyección antropocéntrica y que hay tantas excepciones a dicha regla que los esfuerzos por defenderla como principio general de la evolución están “condenados al fracaso” (Lotka 1925:21-22). Hace falta leer más a Lotka, sin intermediarios, estudiar su obra completa más allá del mismo párrafo mal entendido que se cita una y otra vez. Lotka dijo que, en situaciones en que haya un remanente de energía y materia no aprovechado, los organismos que logren captar dicho remanente y

utilizarlo para cumplir sus objetivos biológicos tendrán ventaja. Esto es un postulado condicional y no es una “ley de la evolución”. Lotka sí postuló una “ley de la evolución”, pero no es que los organismos que maximizan la captación —y menos aún la disipación— de energía siempre tengan ventaja, por lo que la evolución avance hacia organismos maximizadores. El patrón general que él observa es que, en su búsqueda continua por fuentes de energía y materiales para vivir, los organismos se diversificarán hasta ocupar todos los nichos disponibles, se reproducirán hasta donde los factores limitantes lo permitan y competirán por la eficiencia hasta lograr las poblaciones más eficientes en cada nicho: en este punto, el ecosistema dejará de crecer y se instalará en el estado de máximo aprovechamiento de la energía. Visto desde una perspectiva sistémica, los ecosistemas evolucionan en la dirección de una máxima captación y aprovechamiento de la energía y, al topar con los factores limitantes, tienden a instalarse en un estado metaestable alejado del equilibrio termodinámico, tal y como describe Prigogine para las estructuras disipativas. Evidentemente, estos estados metaestables de máximo aprovechamiento biológico de la energía —la madurez ecológica o estados “clímax”— sólo podrán sostenerse mientras haya el flujo de energía necesario, los materiales necesarios, y otras condiciones particulares necesarias. La “ley de la evolución” de Lotka está planteada en el nivel de ecosistemas, no de organismos o especies individuales. Esta dinámica direccional no implica siempre crecimiento: tenderá a estabilizarse cuando haya un suministro constante y, si las fuentes de energía disminuyen, el ecosistema deberá evolucionar hacia estados de menor disipación, de manera análoga a lo que describe Prigogine.

En fases de crecimiento ecosistémico, cuando los límites de los recursos están lejos de alcanzarse, puede haber episodios de crecimiento acelerado en los que las especies maximizadoras —que se reproducen con las tasas más aceleradas, acaparando los recursos incluso a costa de cierto despilfarro— tengan ventaja, temporalmente. Esto puede describirse adecuadamente con el modelo de exclusión competitiva de Gause. Sin embargo, dicho crecimiento acelerado necesariamente topará con los límites, y al hacerlo, la ventaja será nuevamente

para los más eficientes. El principio de Gause no describe una direccionalidad general para la evolución. Su aplicabilidad es limitada a las fases de crecimiento acelerado, e incluso ahí no siempre se cumple, pues la especie maximizadora no siempre llevará a la extinción a sus competidores, que pueden permanecer en zonas marginales hasta que las condiciones ecológicas cambian (ver 2.3.1). La ventaja para los maximizadores será, en todo caso, temporal: a largo plazo y como principio general, la ventaja es para los organismos más eficientes.

Considerando que el objetivo fundamental de los seres vivos es mantener la continuidad de sus vidas y de sus linajes reproductivos, la lógica elemental de la teoría de la evolución por selección natural sí plantea una tendencia hacia un mejoramiento relativo. Parte de la “selección” será aleatoria o contingente, y no implica que los “mejores” sean los que sobreviven. Es indispensable considerar el papel del azar. No son siempre los “más aptos” los que sobreviven, los accidentes y contingencias influyen mucho, todo el tiempo. Las “ventajas” que un organismo o especie puede tener sobre sus competidores no son lo único que influye: su papel será, a lo mucho, el de incrementar las probabilidades de supervivencia del organismo o especie en cuestión. En este sentido vale decir que los organismos o especies más eficientes tienen mejores probabilidades de sobrevivir, por lo que a la larga, veremos cierta tendencia direccional hacia una eficiencia incrementada, lo cual también puede verse como un progreso o mejoramiento, por lo que tendríamos al mismo tiempo direccionalidad y progreso. Este progreso o mejoramiento se define con relación al objetivo fundamental de los seres vivos: mantener la continuidad de su autopoiesis y de sus linajes reproductivos. (Fluctuaciones, cambios impredecibles y eventuales catástrofes pueden llevar a la extinción incluso a la especie más eficiente y mejor adaptada pero, entre las sobrevivientes, la misma tendencia direccional seguirá operando.) La teoría de la selección natural incluye explícitamente el elemento del azar. De ahí que, como enfatiza Gould, la historia de la vida deba contarse como una historia llena de accidentes y contingencias. Sin embargo, en un nivel supraorganísmico, es posible reconocer una y otra vez el mismo patrón general de la evolución descrito por Lotka. Más que una ley determinista que gobierna la acción de los seres vivos

como si fueran autómatas, la integración de termodinámica de no-equilibrio, biología-ecología y teoría general de la evolución, permite visualizar un despliegue continuo de creatividad, actividad (vs pasividad) e indeterminación en la que observamos un empuje constante de los seres vivos, articulados en redes, para mantener la continuidad de la vida, mientras sea posible, en un permanente ajuste ante las constantes perturbaciones, accidentes y contingencias del ambiente (acoplamiento estructural) superando, inclusive, eventuales catástrofes... todo ello dentro de lo que es permitido por la segunda ley .

La eficiencia se define siempre con relación a las características particulares de un organismo, en un ambiente particular, por lo que se trata siempre de un progreso relativo. En cada nicho ecológico, la competencia por la eficiencia se juega en canchas distintas. Cada forma de vida resuelve de manera distinta el desafío de cumplir sus objetivos biológicos, no tiene sentido afirmar que una especie sea superior a otra en términos absolutos. En particular, no es posible afirmar que los organismos más complejos tengan siempre una ventaja sobre los más simples. En ciertas circunstancias pueden tener cierta ventaja, pero en otras circunstancias será al revés. De hecho, precisamente porque los organismos más complejos requieren mayores flujos de energía para sostenerse, en situaciones de recursos escasos la complejidad tiende a ser una desventaja. En diversas crisis ecológicas y episodios de extinción masiva, los organismos con mayor demanda de insumos caerán primero, los organismos “simples” que puedan sobrevivir con menos y en condiciones más extremas tendrán ventaja.

En el proceso de ensamblaje ecológico descrito por Lotka, la ocupación progresiva de todos los nichos implica también el establecimiento de relaciones de dependencia e interdependencia, ciclos de nutrientes, etc. Esto implica reconocer que, como regla general, la supervivencia de prácticamente cualquier especie depende de la continuidad de los sistemas ecológicos que configuran las condiciones ambientales que le permiten existir. (Algunos organismos autótrofos que viven en lugares donde ninguna otra especie puede sobrevivir serían de las pocas excepciones a la regla.) Como entendió bien Lotka, la naturaleza debe entenderse en términos y sistémicos, lo cual implica adoptar un punto de vista

holístico —que se aleja del excesivo énfasis en la competencia individualista— para entender la evolución por selección natural. (Por esto es que Lotka dedica tanta atención a los modelos de equilibrio *interspecies* como las famosas ecuaciones Lotka-Volterra.) La satisfacción de las necesidades “egoístas” que permiten la continuidad de cada organismo y especie está íntimamente relacionada con mantener la continuidad de los sistemas ecológicos de los que dependen. La selección natural opera en muchos niveles simultáneamente, competencia y cooperación son aspectos igual de fundamentales. La evolución hacia ecosistemas más diversos, más productivos, más estables y resilientes ante perturbaciones y catástrofes también puede verse, a la vez, como tendencia y como mejoramiento, direccionalidad y progreso. Este progreso será posible mientras haya la energía, los materiales y las condiciones necesarias para sostenerlo.

CONCLUSIÓN

Resulta, pues, que ni los modelos de termodinámica de sistemas alejados del equilibrio (Prigogine) ni la comprensión termodinámica de la evolución biológica por selección natural (Lotka) prescriben una evolución lineal que avance necesariamente desde los organismos simples hacia los complejos, ni mucho menos hacia una maximización de disipación de energía y producción de entropía. Ambos marcos teóricos postulan una diversidad de caminos transitables, dentro de los cuales algunas líneas pueden avanzar en dirección de una complejidad creciente, pero esto sólo sucede en condiciones particulares y no representa una tendencia general. A nivel de ecosistemas, Lotka describió una direccionalidad de complejidad creciente hasta alcanzar los límites del aprovechamiento de la energía (para esas condiciones particulares), pero esto también puede implicar decrecimiento y simplificación si por alguna razón la disponibilidad de energía disminuye.

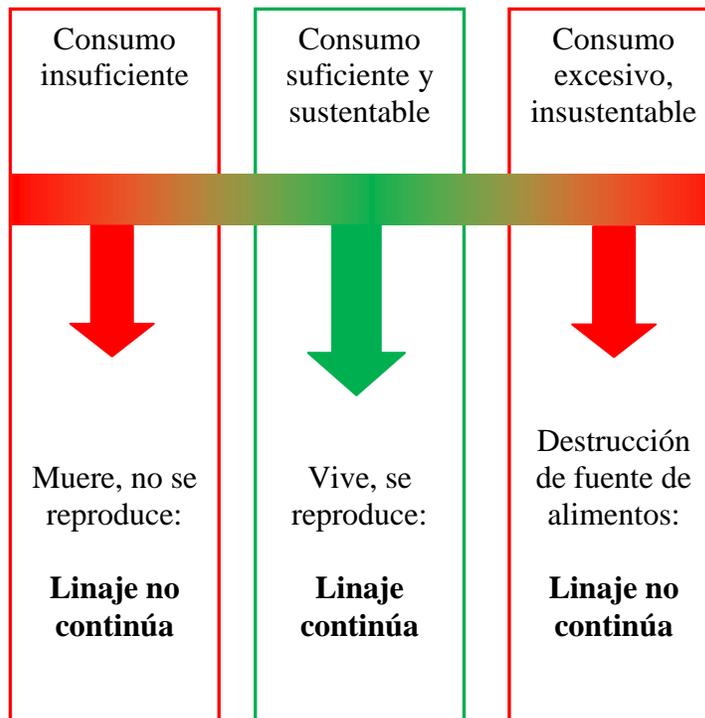
3.2.7. Redefiniendo el progreso para los humanos

En el marco hasta aquí planteado ya hay elementos para repensar algunos de los supuestos básicos con los que tradicionalmente se ha definido el “progreso de la humanidad”. En primer lugar, plantearse como progreso cualquier intento de “salir de la naturaleza” es casi como proponerse “salir del mundo físico”: un total sinsentido. Pero, como espero haber mostrado, no hay ninguna razón para desear salir de la naturaleza: aceptar que somos seres vivos no implica ninguna degradación, reducción ni negación de nuestras cualidades humanas. En particular, aceptar que es imposible salir de la naturaleza no implica aceptar que estemos “determinados por la naturaleza”: los modelos actuales permiten concebirnos como sujetos intencionales, autónomos y no exo-determinados. Aceptar que somos seres vivos tampoco implica que seamos egoístas sin escrúpulos o que nuestro comportamiento esté determinado por los genes. Y aceptar que somos sistemas disipativos tampoco implica que nuestra conducta esté fatalmente predeterminada por la segunda ley de la termodinámica.

Y precisamente por la misma razón por la que no estamos “determinados por la naturaleza” tampoco podemos aspirar a “dominar la naturaleza”. El universo no es una gran maquinaria determinista que podamos llegar a gobernar como dioses en la Tierra. Los seres vivos no son autómatas que podamos controlar a voluntad. La razón y la ciencia no nos darán el control del mundo, porque este es esencialmente indeterminado e impredecible. Pero tampoco es necesario dominar la naturaleza para poder considerarnos sujetos plenamente humanos. Superar la dicotomía humano-naturaleza implica, en el fondo, superar la angustia de “no ser más que animales”, de sentir que sólo trascendiendo esa condición degradante podemos llegar a ser algo que valga la pena ser. La evolución no es un progreso lineal de lo simple a lo complejo en el que nosotros seamos la cúspide... es más bien un despliegue multicolor de formas de vida todas únicas y maravillosas, que en conjunto encarnan la grandeza de la vida. En la historia de la humanidad, como expondré a continuación, tampoco hay que buscar la grandeza y la belleza solamente en lo más complejo...

Es posible plantear un progreso distinto, que no busque salir de la naturaleza ni dominarla para nuestro beneficio exclusivo sino integrarse funcionalmente en ella, de manera que fomentemos no sólo la continuidad de nuestras propias vidas sino de la diversidad de formas que también participan en la red de la vida. El verdadero progreso implica fortalecer la productividad y la estabilidad de los ecosistemas de los que formamos parte. Eso es lo que trato de plantear como pasar de un planteamiento antropocéntrico a un planteamiento biocéntrico.

Desde una perspectiva biocéntrica, lo que habría que comenzar describiendo sobre el ser humano no es lo que le distingue del resto: sus características más fundamentales son, precisamente, las que comparte con otros seres vivos. De estos aspectos básicos es posible extraer importantes directrices. Como seres vivos, los humanos necesitan un constante insumo (energía y materiales) para mantenerse con vida y para mantener la continuidad de su linaje reproductivo. Como animales heterótrofos, no producen su propio alimento sino que se alimentan de un tipo de materia orgánica con energía almacenada que es sintetizada por otros organismos (autótrofos). Por más que nos guste representarnos en la cúspide de la pirámide trófica como signo de dominancia sobre el resto de las criaturas, en realidad esta sería la posición más dependiente: mientras más arriba se ubique una especie en los niveles tróficos, más depende de que todos los pasos anteriores se cumplan para que el tipo particular de alimento que necesita llegue a producirse. Nuestra vida depende de la continuidad funcional de los ecosistemas de los que formamos parte. Como cualquier heterótrofo, enfrentamos el riesgo de que si al alimentarnos destruimos a los organismos que nos alimentan, la situación puede conducir hacia una “pesadilla malthusiana”. Para mantenernos con vida y para mantener la continuidad de nuestros linajes reproductivos, por lo tanto, no sólo es necesario conseguir suficiente alimento, sino también no impactar destructivamente los ecosistemas que nos alimentan. Esta situación constituye el desafío común que enfrentan todos los heterótrofos, y puede representarse de la siguiente manera:



El desafío de la supervivencia para los heterótrofos

En este esquema, dentro de lo que podemos considerar como un *continuum*, aquellas situaciones en las que un heterótrofo no alcance a conseguir alimento suficiente para mantener su autopoiesis y la continuidad de su linaje reproductivo, conducirán a la muerte del organismo y/o a la extinción de la especie. En el otro extremo, aquellas situaciones en las que el consumo sea insustentable —se consume más de lo que el sistema puede producir— tenderán hacia la destrucción de las fuentes de alimento y, por lo tanto, a la (auto)destrucción de los organismos consumidores. Esto último es lo que ya he descrito como situaciones de “demasiado éxito” o “pesadillas malthusianas”. Esto parecería una extensión ecosistémica de la idea de “optimalidad” que planteaba Gregory Bateson a nivel del organismo individual:

En biología no hay valores monótonos. Un valor monótono es aquel que o bien solo aumenta, o bien sólo disminuye. La curva que lo representa no tiene quebraduras [puntos de inflexión]; o sea, nunca pasa del aumento a la

disminución o viceversa. Las sustancias, objetos, pautas o secuencias de experiencia que son deseadas por el hombre y en algún sentido “buenos” para su organismo (p. ej., los elementos de la dieta alimenticia, las condiciones de vida, la temperatura, la diversión, la actividad sexual, etc.) nunca son tales que una mayor cantidad de ellos sea siempre mejor que una cantidad menor. Más bien, para todos los objetos y experiencias hay una cantidad que tiene un valor óptimo. Por encima de esa cantidad, la variable se vuelve tóxica; por debajo de ella, el ser humano siente privación. (Bateson 1979:65)

Regresando al esquema anterior: evidentemente, hay muchas otras variables que no están representadas en este simple esquema, la continuidad o interrupción de un linaje depende de muchos factores adicionales de su interacción con otros seres vivos, con el ambiente local, planetario y hasta del vecindario cósmico (como comprobaron los dinosaurios). Este esquema solamente representa una parte del asunto, pero una parte fundamental.

Inmediatamente viene a la cabeza una objeción muy elemental: algunos heterótrofos pueden “sobrealimentarse” destruyendo las fuentes y migrar a una nueva localidad para continuar viviendo. Imaginemos una población de gusanos que comen las hojas de un árbol. Su éxito en comer hojas y reproducirse implicará una disminución de hojas proporcional a la multiplicación de los gusanos. Si el árbol no es capaz de producir hojas con la suficiente velocidad para reponer las que los gusanos se comen, no podrá seguir fotosintetizando y terminará por morir. Si esto sucede, los gusanos pueden continuar viviendo simplemente migrando a otro árbol del mismo tipo. Observando ahora a nivel del bosque completo —imaginemos que se encuentran en un isla— encontramos otra vez la misma situación: el éxito que tengan en convertir árboles en gusanos implicará una reducción de árboles proporcional al crecimiento de sus poblaciones. Si el bosque no es capaz de producir ese tipo de árboles con, al menos, la misma velocidad con la que los gusanos los consumen, el proceso avanza hacia el agotamiento de todos los árboles en la isla, con lo cual los gusanos morirán. Si se tratara de orugas que se convierten en mariposas, quizás podrían volar a una isla vecina,

pero entonces encontramos nuevamente la misma situación: si el archipiélago de islas no es capaz de regenerar sus bosques con al menos la misma velocidad con la que los gusanos los consumen, las islas con bosque se agotarán hasta que ya no habrá más islas a donde migrar. Las mariposas podrían alcanzar un estado estable si, por ejemplo, en su implacable avance arrasando con bosques enteros, tardaran lo suficiente en dar la vuelta al mundo para que, cuando regresaran a un lugar por donde ya habían pasado, el bosque hubiera tenido tiempo de regenerarse. De otro modo, a fin de cuentas toparán con los límites de la biosfera y ya no habrá a donde migrar: exactamente igual que si los gusanos no hubieran logrado pasar del primer al segundo árbol, o si no hubieran logrado volar hacia afuera de su isla. Sea como sea, la biosfera marca un límite definitivo: fuera de la biosfera no existen los ecosistemas de los que los heterótrofos terrícolas se alimentan.

No hay manera de escapar a este problema. Lo único que se logra migrando es subir de nivel para encontrar nuevamente el mismo problema de los límites. Si esta dinámica no alcanza un punto de equilibrio *interspecies* en algún nivel, la situación inevitablemente conduce al colapso y a la interrupción de ese linaje que fue “demasiado exitoso” como para poder sobrevivir. Podría argumentarse que, quizás, los gusanos podrían encontrar un segundo tipo de árbol del cual también pueden alimentarse: esto no cambia la dinámica básica, la situación se repite ahora con la nueva especie. No hay escapatoria: todos los heterótrofos se encuentran, de una u otra manera, en la situación descrita en el esquema. Siempre. Es un modelo general que aplica para cualquier tipo de heterótrofos y, por lo tanto, aplica para los seres humanos en toda su diversidad. Sea cual sea su forma de adaptación. Sea cual sea su nivel de tecnología.

Lo que acabo de mostrar es, en realidad, una obviedad. La conclusión ya va implícita en las premisas con que se planteó el esquema. Por definición, un heterótrofo es dependiente de la existencia de un ecosistema productor. El ejemplo de los gusanos sólo muestra que si un consumo no es sustentable, entonces no es sustentable. Lo gracioso del asunto es que nos resistamos a aceptar dicha obviedad. Ahí es donde está la cuestión relevante: tendemos a

pensar que el “progreso” implica superar de algún modo las limitaciones impuestas por la naturaleza. Si un modelo nos dice que no hay manera de superar esos límites, sentimos entonces que se cancela toda posibilidad de progreso y tendemos a pensar que, o bien el modelo está mal porque de hecho hemos observado que el progreso es posible, o bien nos resignamos a pensar que el progreso es imposible y, a menos que nos guste “vivir en las cavernas”, pensaremos que la vida en un mundo así no vale la pena. Observando de nuevo el esquema del “desafío común de los heterótrofos”, uno tiende a pensar que el progreso hacia la civilización no está en permanecer “estáticos” en el centro, sino en abrir camino al desarrollo empujando siempre hacia la derecha. En la medida en que el progreso hacia las complejas civilizaciones implica el desarrollo de poblaciones humanas cada vez más numerosas que requieren cada vez mayores insumos de materia y energía, se entiende que cada paso en el avance triunfal de la humanidad se daría empujando hacia la derecha en el esquema. Decir que las sociedades humanas no pueden desarrollarse más allá de los límites naturales es una herejía que atenta directamente contra un dogma central de la fe moderna: creemos que la realización humana se alcanza conforme superamos los límites naturales. ¿De qué nos serviría mantenernos estancados en una situación de dependencia sin imponer un control sobre el ambiente? Creemos que no somos propiamente humanos mientras no rompamos de alguna manera con el orden natural, que el éxito adaptativo humana está precisamente en nuestra capacidad de doblegar a la naturaleza para que cumpla siempre nuestros deseos.

En realidad, aunque la dinámica ilustrada con el ejemplo de los gusanos pueda parecernos muy “natural”, lo que se observa en la naturaleza es, generalmente, otra cosa. Difícilmente una población de heterótrofos podrá realmente consumirlo todo hasta destruir totalmente la fuente de la que se alimenta. Si una población tiene la capacidad de migrar, en general lo hará mucho antes de llegar al punto en el que efectivamente ha arrasado con todo. El crecimiento de la población será exponencial mientras haya abundancia de recursos (por ejemplo, hojas en un árbol); cuando estos *comiencen a escasear*, la población sentirá estrés: cada vez hace falta más esfuerzo para conseguir

alimento en un lugar sobrepoblado, en el que abunda la competencia y comienzan a escasear los recursos. Resulta más eficiente buscar un nuevo lugar que seguir compitiendo y consumiendo en el mismo hasta llegar a destruir totalmente su productividad y capacidad de regeneración. Incluso después del paso de una cantidad masiva de gusanos come-hojas, un árbol normalmente conservará una pequeña cantidad de hojas, suficiente para recuperarse, dado que para los gusanos será más eficiente buscar un árbol nuevo antes de realmente consumirlo todo.

Una dinámica parecida se ha descrito con la “ley de los rendimientos decrecientes” (Harris 1998:278-280). El número máximo de heterótrofos de cierto tipo que un ecosistema puede soportar de manera sustentable se define como la capacidad de sustentación. Este límite se define tanto por la dinámica de producción y regeneración del ecosistema como por la eficiencia en el consumo de los heterótrofos en cuestión. Si por alguna razón la productividad del ecosistema se incrementa, o si de algún modo la eficiencia de los consumidores se incrementa, la capacidad de sustentación incrementa. (Obviamente, lo contrario también puede ocurrir.) Lo que dice la ley de los rendimientos decrecientes es que los niveles reales de población se mantendrán por debajo de los límites de la capacidad de sustentación. La razón de esto se encuentra analizando la eficiencia energética del comportamiento de los organismos consumidores. Mientras haya abundancia de recursos, su conducta para obtener alimentos podrá tener un balance favorable en términos de eficiencia: la energía invertida para conseguir alimentos es menor que la cantidad de energía que se obtiene con dicha conducta. Conforme las poblaciones crecen su consumo de recursos crece y la disponibilidad de recursos decrece proporcionalmente. En este proceso, la eficiencia energética de la mencionada conducta se ve afectada. A partir de cierto punto —el punto de rendimientos decrecientes— la cantidad de alimento obtenida por unidad de esfuerzo comienza a disminuir. Como señala Harris, “nadie desea voluntariamente trabajar más para conseguir menos” (1998: 279). Una vez alcanzado el punto de rendimientos decrecientes, resulta más conveniente cambiar de estrategia o de lugar, mejorando con ello la eficiencia, que seguir en la

misma dinámica en la que cada vez se obtiene menos invirtiendo más. El hecho de que una población enfrente una situación de rendimientos decrecientes antes de topar con los límites absolutos de la biocapacidad del ecosistema local tiende a mantenerle por debajo de la capacidad de sustentación.

En los casos en que no sea posible migrar ni cambiar de estrategia, una población de heterótrofos podrá reproducirse exponencialmente mientras haya abundancia, pero en caso de que rebase la capacidad de sustentación comenzará a colapsar cuando su fuente de alimento comience a escasear, y lo más seguro es que se reduzca considerablemente antes de acabar efectivamente con todo. Eso es lo que describen los modelos de estabilidad *interspecies* que presentó Lotka (ver Capítulo 2), en donde una población depredador y una población presa tenderán a oscilar en torno a un punto de equilibrio.

3.3. Historia de la humanidad

3.3.1. Cazadores, recolectores, pescadores

En muchos recuentos se considera que la historia de la humanidad inicia con la agricultura. Quizás se dediquen algunos párrafos a dar alguna idea sobre lo que fue la vida en la “prehistoria”, pero el centro de atención será casi siempre el desarrollo de las grandes civilizaciones, en cuyos imponentes logros se mide normalmente la grandeza de nuestra especie. La historia de la humanidad, vista de este modo, abarca alrededor de diez mil años. Se sabe que nuestra especie —*Homo sapiens sapiens*— existe desde hace unos doscientos mil años, y la familia de homínidos a la que pertenecemos, desde hace unos dos millones de años. Lo “verdaderamente humano”, sin embargo, no estaría en el 95% de la historia de nuestra especie (ni en el 99.5% de la historia de los homínidos) sino en ese último 5% (o ese último 0.5%) en el que se concentra aquello que “realmente somos”. La razón es fácil de entender: aunque fueran ya “anatómicamente modernos”, se piensa que estos humanos prehistóricos no habían logrado

desarrollar, todavía, una forma de vida propiamente humana, llevaban una existencia más bien “animalesca”.

Usualmente se establece un contraste muy marcado entre la forma de vida de los cazadores-recolectores y los primeros agricultores y pastores. Mientras los primeros llevaban una forma de vida “salvaje” (que comparte etimología con “selva” y “silvestre”) en la que estaban “a merced de los elementos”, los segundos comenzaron a “domesticar” la naturaleza adquiriendo un progresivo control sobre su ambiente. A diferencia del papel activo que se le reconoce los humanos con respecto a la naturaleza domesticada, a los cazadores-recolectores se les atribuye un papel más bien pasivo, capaces solamente de consumir lo que la naturaleza les proporciona.

Siguiendo con dicha idea, es común que se describa la forma de vida anterior al desarrollo de la agricultura como una vida marcada por las carencias y las limitaciones impuestas por el ambiente. “Viviendo al día”, sin posibilidad siquiera de almacenar alimentos, estas poblaciones se ven obligadas a moverse incesantemente en busca del sustento, sus números sólo pueden llegar hasta donde la fluctuante productividad de los ecosistemas se los permita. En ausencia de conocimientos científicos que les permitieran efectivamente controlar el ambiente —dice la interpretación clásica— no podían sino imaginar que la naturaleza estaba gobernada por entidades espirituales, caprichosas y volubles, cuyos favores o castigos eran cambiantes e impredecibles. En un mundo lleno de amenazas, incierto y sin seguridades de ningún tipo, los primitivos aliviaban su sentimiento de vulnerabilidad y angustia frente a lo desconocido inventando rituales y procedimientos mágicos que, aunque no tenían ninguna influencia real sobre el ambiente, servían para reconfortar al grupo llegando, cuando más, a tener una “eficacia simbólica” que por medio del efecto placebo podía generar mejorías en algún enfermo.

El hecho de que hoy en día existan “todavía” poblaciones de cazadores-recolectores en bandas igualitarias que “no han logrado” mayores niveles de complejidad se ha explicado por su falta de conocimientos y su bajo nivel de tecnología, sea que esto se atribuya a un menor desarrollo intelectual-biológico de

su “raza” o a limitaciones culturales-sociales. Se trataría, pues, de poblaciones “atrasadas” que no han podido superar esa situación de carencia y vulnerabilidad, que están en gran medida determinados por las duras condiciones ambientales y que, si fueran libres de elegir, optarían obviamente por una forma de vida más cómoda y estable: salir del “estado de naturaleza” para gozar de la prosperidad y seguridad de una vida propiamente humana. Que sigan existiendo no sería ningún signo de éxito adaptativo sino, precisamente, de fracaso, de estancamiento en el camino del progreso: no han logrado avanzar hacia una mayor complejidad.

Sin embargo, algunos estudios etnográficos sobre comunidades de cazadores-recolectores vivos no los muestran tan desesperados por salir de su supuestamente angustioso estado. Como señala Harris:

Los estudios acerca de los !kung y de otras bandas de cazadores-recolectores organizadas en forma parecida han disipado la noción de que el modo de vida de caza y recolección —aun en medios adversos— condena necesariamente a los pueblos a una miserable existencia en la que se vive al día, en la que el hambre se evita sólo a fuerza de un continuo esfuerzo diario. Alrededor de un 10 por ciento de los !kung tienen más de 60 años de edad (comparado con el 5 por ciento de países agrícolas como India y Brasil), y el examen médico demuestra que poseen un buen estado de salud. A juzgar por la gran cantidad de carne y otras fuentes de proteínas en su dieta, su sana condición física, y su abundante tiempo libre, los !kung san poseen un alto nivel de vida. La clave de esta situación reside en que su población es baja con relación a los recursos que explotan. En sus tierras hay menos de una persona por milla cuadrada, y su esfuerzo productivo permanece muy por debajo de la capacidad de sustentación, sin una intensificación apreciable (excepto cuando intervienen en la cría de ganado). (Harris 1998:284)

En el otro extremo ideológico, quienes hoy en día ven como un error de la civilización el haber “salido de la naturaleza”, ven en los cazadores-recolectores los vestigios de un tiempo en que vivíamos en unidad con la naturaleza,

postulando un estado de total armonía e integración que suele caer en idealizaciones románticas sin fundamento. Frente a quienes consideran que su estado de “atraso” se debe a su falta de innovación en términos de conocimientos y técnicas adecuadas, por lo que su paulatino desplazamiento y el despojo de sus territorios por pueblos “más avanzados” es natural, quienes consideran que su respeto sagrado por la naturaleza proviene de una cosmovisión animista que se mantiene intacta desde tiempos ancestrales, desean protegerlos de toda contaminación con ideas del exterior para conservarles en estado de pureza. Sea que se les vea como “buenos salvajes” o como “pueblos atrasados”, se comparte la idea de que están “congelados” en el tiempo, en un estado fundamentalmente estático, sin innovación ni creatividad.

En este punto estoy de acuerdo con Jared Diamond cuando —en su libro *Colapso, por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*— señala que:

En realidad, ambas posiciones extremas de esta controversia —la de los racistas y la de los creyentes en los paraísos del pasado— cometen el error de considerar que los pueblos indígenas del pasado eran esencialmente diferentes de los pueblos del moderno Primer Mundo, ya sea por su inferioridad o su superioridad. Gestionar de forma sostenible recursos ambientales ha sido siempre difícil. (Diamond 2006:17)

A primera vista, podría parecer que no hay nada más lejos de “gestionar recursos ambientales de forma sostenible” que ser cazador-recolector. No sólo se considera que, por definición, son gente que no “gestiona” nada, que se dedican simplemente a capturar o recolectar lo que los ecosistemas por sí solos producen, sino que además el hecho de llevar una vida nómada parecería implicar que tienden a arrasar con todo lo que haya sin importarles la sustentabilidad de su consumo pues, una vez agotado el terreno, sólo necesitan migrar un poco más allá (en una dinámica parecida a la que veíamos en el ejemplo de los gusanos come-hojas).

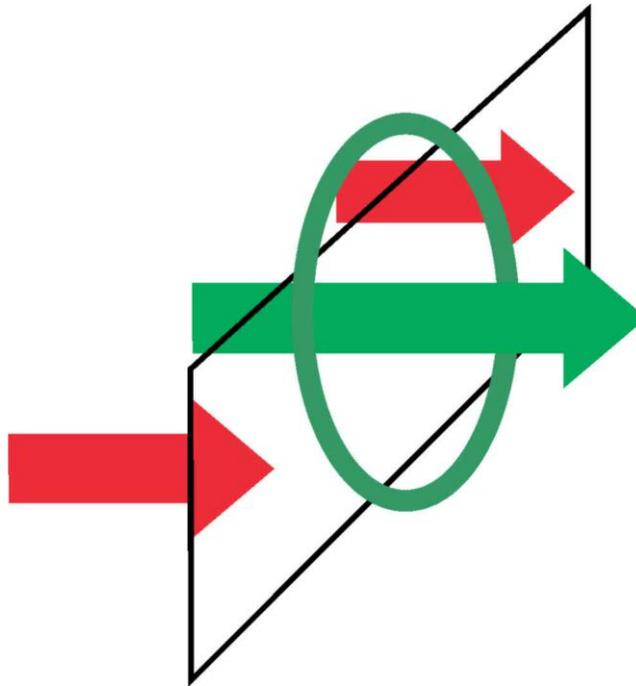
En el esquema de Adams, las poblaciones humanas buscarían siempre reproducirse exponencialmente lo que les llevaría a maximizar su consumo de

recursos. Si bien sería posible que algunas poblaciones alcanzaran temporalmente un estado estable, al hacerlo estarían apartándose de la norma, serían la excepción a la regla que dicta una tendencia universal hacia el crecimiento y la maximización. Además, en caso de que una población se estabilice, esto se debería a que el ambiente les impone restricciones y no a que ellos se propongan mantenerse intencionalmente en un estado estable (dados sus bajos niveles de desarrollo tecnológico, los recursos que pueden explotar son muy limitados, por lo que *no pueden* crecer más allá de lo que la producción “natural” de los ecosistemas lo permite).

Con el esquema que he presentado como “desafío común de los heterótrofos” tomo un punto de partida opuesto: de entre la diversidad posible, algunas poblaciones fracasarán en conseguir suficiente alimento y no podrán continuar. Otras serán tan eficaces para consumir cierto recurso que pueden agotarlo por completo y, si esto sucede con todos los recursos que pueden consumir en un territorio determinado, tendrán que migrar o morir. Si bien migrar puede funcionar por un tiempo (como en el caso de los gusanos), a fin de cuentas no será sustentable y tendrán que desarrollarse nuevas formas o perecer cuando el agotamiento total se alcance. Con lo anterior no es necesario asumir que los humanos buscan siempre, de manera consciente, mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad. Lo que este modelo sugiere es que, por selección natural, las poblaciones tenderán a ajustarse a la biocapacidad de los ecosistemas que habitan.

Nuestros grandes cerebros no nos libran de esta situación. Nos enfrentamos al mismo reto que el resto de los heterótrofos. La diferencia radica en que tenemos una mayor variabilidad conductual —gracias a la plasticidad incrementada de nuestro sistema nervioso— pero esto no siempre es garantía de éxito: algunas innovaciones pueden ser favorables y otras pueden ser desfavorables, algunas pueden ser exitosas a corto plazo y autodestructivas a largo plazo... Ahí es donde radica el desafío: encontrar la forma de mantenernos entre ambos extremos es, para nosotros, un proceso de aprendizaje continuo. En vez de verlo como una situación de estancamiento e inmovilidad, deberíamos

entender que mantenerse en el centro del esquema es la única opción que tenemos para continuar existiendo, por lo que el verdadero progreso sólo es posible manteniéndose en el centro, sin caer en ninguno de los extremos.



Verdadero progreso: A largo plazo, sólo las estrategias del centro podrán continuar.

Es posible conseguir diversas formas de mejoramiento (entendido con respecto a la consecución de los objetivos biológicos: mantener la continuidad de la autopoiesis y del linaje reproductivo) manteniéndose en el centro del esquema. Tomando como punto de partida la idea de que los organismos naturalmente buscan incrementar su eficiencia energética (y que los más eficientes tienden a tener ventaja en términos de selección natural) puede entenderse que cualquier modificación conductual que incremente la eficiencia será seleccionada. En el caso de los animales con sistema nervioso, este proceso direccional hacia una eficiencia incrementada constituye parte fundamental del aprendizaje.

Cualquier mejoría en la técnica con que se caza una especie en particular será seleccionada, lo cual incluye no sólo mejorar las armas o trampas sino descubrir patrones migratorios y otras regularidades conductuales de las presas,

encontrar los mejores tiempos y lugares, etc. Lo mismo aplica para la pesca y recolección: encontrar una forma más fácil de recolectar la miel de una colmena, encontrar una técnica más sencilla para recolectar más rápidamente todos los frutos de un árbol, descubrir la temporada en que hay mayor abundancia de peces en cierta parte del río, etc. Pero la misma lógica de la eficiencia energética permite entender que, naturalmente, si los conejos en el valle comienzan a escasear, cada vez hace falta invertir más tiempo y esfuerzo en cazar uno (ley de rendimientos decrecientes) por lo que, naturalmente, las personas preferirán invertir ese tiempo y esfuerzo en otra actividad más redituable. Si una mayor eficiencia en la técnica de cacería —por ejemplo utilizando trampas de cientos de metros de redes hacia las que se guía colectivamente un gran número de conejos— conduce a una disminución considerable de las poblaciones de conejos, para mantener eficiencia energética los cazadores deberán desplazarse a otro punto o intentar aprovechar otra fuente de alimento (ley de los rendimientos decrecientes).

El aprendizaje también incluye, de manera fundamental, la progresiva diversificación de las fuentes de alimento. Si una determinada fuente (sea de caza, pesca o recolección) comienza a tener rendimientos decrecientes, hay un incentivo natural a buscar aprovechar fuentes más abundantes. Puede encontrarse alguna forma de preparar cierto elemento —por ejemplo deshidratando hongos que de otro modo son venenosos, moliendo semillas que de otro modo son imposibles de digerir, cocinando un fruto que de otro modo tiene un sabor demasiado amargo, etc.— que permite aprovechar un elemento que no estaba siendo aprovechado y que, por lo tanto, es abundante. Además de lograr una mejor dieta, con mayor diversidad de elementos, conforme el aprendizaje permite diversificar las fuentes de alimento aprovechables, una misma localidad podrá sostener poblaciones mayores sin necesidad de rebasar la capacidad de sustentación. Cada vez que se aprende a aprovechar un nuevo elemento se abre un nuevo campo de aprendizaje en el que las personas podrán incrementar gradualmente la eficiencia para aprovechar dicha fuente de alimento, e igualmente llegarán a un punto en el que su éxito en aprovecharla conduzca hacia situaciones de rendimientos decrecientes. Para cada fuente de alimento existirá un espectro

de optimalidad que hacia ambos extremos presenta eficiencia disminuida. Conforme diversifican sus fuentes de alimento, las poblaciones no sólo se hacen menos vulnerables ante las fluctuaciones naturales en la disponibilidad de cada recurso, sino que se hacen también más hábiles en mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad local, pues teniendo más diversidad para elegir, no necesitarán insistir en explotar un recurso que ya está mostrando rendimientos decrecientes.

Contra aquella visión en la que, por ser nómadas, parecería que los cazadores-recolectores no tendrían ningún interés en mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad de una localidad particular, puesto que siempre pueden migrar más allá, hay que considerar que el proceso de aprendizaje implica una considerable inversión de energía, riesgos y costos adicionales. Incluso asumiendo que un grupo llega por primera vez a un territorio ya con buenos conocimientos sobre como cazar, pescar y recolectar de manera efectiva, llegar a un nuevo lugar implica siempre nuevos desafíos. Conocer un nuevo territorio implica encontrar fuentes adecuadas de agua, descubrir cuáles son las zonas con mayor y menor productividad, conocer las particularidades del nuevo sitio, las variables que se modifican con los ciclos estacionales, identificar los peligros, familiarizarse con especies desconocidas, etcétera. La curva de aprendizaje implica que al inicio habrá un periodo de relativo desconocimiento en el que todo requiere mayor esfuerzo. El esfuerzo de conocer un lugar nuevo implica muchos gastos adicionales de energía, que comenzarán a reeditar conforme se descubran las formas más eficientes de habitar dicho lugar. El periodo de experimentación y aprendizaje por ensayo y error implica no sólo costes energéticos mayores sino mayores riesgos e incertidumbre: un error puede ser fatal (comer el hongo equivocado, por ejemplo), dejando una profunda huella en el grupo que a partir de dicha experiencia aprenderá a reconocer cierta situación, lugar o elemento como signo de alto riesgo. Lógicamente, una vez que un grupo ha pasado por la difícil etapa de aprendizaje en un lugar nuevo, con toda la inversión de tiempo, esfuerzo y energía que ello implica, buscará sacar todo el provecho posible del aprendizaje obtenido. Esto implica que, una vez que un grupo ha logrado incrementar su

eficiencia en un lugar particular, buscará quedarse ahí. Nadie prefiere ir a un lugar desconocido donde todo es más incierto y difícil, dejando el lugar donde ya se ha aprendido cómo vivir mejor.

Tomemos por ejemplo el caso de los indios Shoshone de la Gran Cuenca, una extensa y extremadamente árida región en el oeste de lo que hoy son los Estados Unidos de América. Steward (1938) los presentó como un caso del nivel mínimo de integración social: durante la mayor parte del año, unidades familiares mínimas (formadas básicamente por un padre, una madre y los hijos, a los que ocasionalmente se suman abuelos o tíos) viven de manera autosuficiente y, comparativamente, con muy escaso contacto e interacción social con otras familias. Para tener una idea de lo que estamos hablando basta con considerar las densidades poblacionales que eran comunes para ellos: en las áreas más fértiles de la Gran Cuenca (en las que hay mayor humedad), las poblaciones Shoshone llegarían a quizás una persona por cada 5 millas cuadradas (unos 8 km²), mientras que en las amplias regiones de terreno seco y menos productivo, la densidad poblacional podía ser de una persona por cada 50 o incluso 100 millas cuadradas (80-160km²).

It is perhaps difficult to imagine that a family, alone and unaided, could obtain virtually all the food it consumed; manufacture all its clothing, household goods, and other articles; rear and train its children without assistance; take care of its sick except in time of crisis; be self-sufficient in its religious activities; and, except on special occasions, manage its own recreation. (Steward 2008:169)

Evidentemente, pese a lo “simple” que puede parecer su estilo de vida, es fácil imaginar que hay todo un proceso de aprendizaje que permite a los Shoshone vivir en tales circunstancias. Incluso suponiendo que un grupo de familias ingresan por primera vez en dicho territorio con conocimientos básicos de supervivencia —ya con experiencia y pericia en formas simples de caza, pesca, recolección, etc.— las particularidades de esta región implican desafíos particulares que, sin el adecuado aprendizaje previo, harían muy difícil —si no imposible— la supervivencia.

Conocer el terreno de esta amplia región implica un amplio periodo de aprendizaje: ubicar las regiones con mayor y menor abundancia de agua, las zonas de caza, los lugares y tiempos más propicios para la pesca, las fuentes de comida disponibles durante el invierno y otras variables que se modifican en los ciclos estacionales. Instalándose en las zonas más fértiles y productivas, una familia puede encontrar distintas fuentes de alimento en trayectos no mayores a uno o dos días de caminata desde un asentamiento permanente, lo que les permite establecerse en un lugar fijo durante todo el año. Sin embargo, en el resto del territorio, las familias deben desplazarse continuamente a través de largas distancias para encontrar fuentes de alimento a lo largo del año. Durante el invierno, la única fuente de alimento capaz de sostener a las familias eran los piñones, por lo que las familias debían planear sus rutas con meses de anticipación de modo que pudieran ir aprovechando distintas fuentes en el camino y llegar a las zonas montañosas donde se dan los piñones a finales de octubre o inicios de noviembre, justo a tiempo para la cosecha que les permitirá sobrevivir el invierno. Siendo la única fuente de alimento disponible en esas fechas, muchas familias Shoshone se reunirán para la cosecha de piñones, convirtiéndose la temporada en un tiempo de vida social incrementada.

The winter encampment consisted on perhaps twenty or thirty families within easy visiting distance of one another. Early spring generally found the people suffering more or less acutely from hunger. The families then had to go their separate ways to forage for greens, game, and any other foods they could find. Throughout spring and summer, the migrations of a particular family, although limited in general to the terrain it knew well, were determined almost week to week by its knowledge of available foods. It might learn that sand grass seeds were promising in one place, rabbits numerous elsewhere, fly larvae abundant in a certain lake, and antelope ready for a communal hunt under a shaman or medicine man over in the next valley. (Steward 2008:171)

Aunque clasifiquemos a los Shoshone como nómadas, tenemos la misma situación: una vez que han atravesado un proceso de aprendizaje para vivir mejor en un (extenso) territorio, resulta para ellos más eficiente mantenerse en esa región —que, aunque comparativamente nos parezca llena de incertidumbre y variabilidad, para ellos contiene certezas, como que habrá piñones en el invierno y conejos en el verano—, en vez de aventurarse a nuevas regiones totalmente diferentes en donde tengan que comenzar de nuevo el difícil aprendizaje.

El relativo aislamiento en que viven las familias Shoshone resulta adecuado para vivir en esa región. Algunas fuentes de alimento se aprovechan mejor de manera colectiva, lo que implica que varias familias pueden reunirse temporalmente para aprovechar la abundancia de conejos en un valle (cazándolos colectivamente con el uso de grandes redes), o para la cacería de antílopes. Sin embargo, la mayor parte del tiempo, cada familia mantiene una considerable distancia con respecto a las demás, debido a que muchas de las fuentes de alimento se aprovechan mejor en soledad.

Anyone who has gathered wild berries in a party knows that he can pick far more if he finds a patch of his own. Unlike certain forms of hunting —for example, collective rabbit drives or antelope hunts— participation of many persons in seed and root gathering not only failed to increase the per capita harvest, but it generally decreased it so greatly that individual families preferred to forage alone so as not to compete with other families. (Steward 2008:171)

Conforme un grupo aprende a aprovechar de manera eficiente un cierto hábitat, las poblaciones podrán crecer hasta donde comience a sentirse estrés por sobrepoblación. La tendencia a quedarse en un lugar conocido puede verse contrarrestada por un impulso a buscar aprovechar zonas aledañas cuando el territorio conocido ya está ocupado. Aventurarse demasiado lejos implica cada vez más riesgos, pero a veces puede ser necesario. Uno de los riesgos es encontrar territorios nuevos que, aunque puedan ser muy buenos, ya estén ocupados. En una situación de confrontación directa por el derecho a aprovechar cierto recurso,

un grupo de recién llegados, con escasos conocimientos y baja eficiencia —y posiblemente cansados y mal alimentados durante el trayecto— difícilmente podrá competir contra un grupo de personas que ya han habitado el lugar por cierto tiempo, que tienen conocimientos y prácticas mejoradas con la experiencia, que están descansados, mejor nutridos, etc.

Siendo así, hay que imaginar que el gradual poblamiento de la gran diversidad de hábitats que los humanos fueron encontrando a lo largo y ancho del planeta implicó una tensión constante entre permanecer y migrar: naturalmente hay una inclinación a permanecer en el mismo sitio mientras las condiciones lo permitan, pero una serie de factores pueden impulsar a los grupos humanos a buscar explorar hábitats distintos, desde presión demográfica hasta cambios climáticos, contingencias ambientales, agotamiento de las fuentes de alimento, etc.

La historia particular de aprendizaje en cada lugar, con los distintos recursos y desafíos que cada región incluye, condujo a una asombrosa diversificación en las formas de vivir de los distintos grupos. En algunos casos, los humanos aprendieron a vivir en lugares especialmente productivos, en donde mediante la caza, pesca y recolección fue posible crear asentamientos permanentes y sostener poblaciones relativamente grandes, con sorprendentes desarrollos culturales y sociales. El caso mejor conocido —dado que sobrevivieron hasta el siglo XIX— se encontraba muy cerca de la Gran Cuenca Shoshone: a lo largo de la costa oeste de lo que hoy son los Estados Unidos de América, desde el norte de California hasta Alaska, comunidades aprendieron a aprovechar los abundantes recursos pesqueros de la costa del Pacífico, a lo largo de la cual se establecieron numerosos asentamientos permanentes. Como narran McNeill & McNeill en el primer capítulo de *The Human Web. A bird's-eye view of world history*:

Salmon fisheries started to leave archaeological traces along the Pacific coast as early as 8,000 years ago, but techniques for capturing large numbers of fish and for preserving them only became capable of supporting large, permanent settlements after about 500 C.E. [Common Era]. [...] when

effective fishing weirs and nets were in place, and smokehouses for drying the fish had been built, a few weeks of intensive effort sufficed to provide comparatively large populations with most of the food they needed year round. The resulting spare time allowed an extraordinary elaboration of dwellings, totem poles, and potlatch ceremonies. [...] These ceremonies fostered an intricate exchange of precious goods across hundreds of miles. They also defined, and ceremonially validated, complex social rankings in each of the participating communities. Wars were sometimes fought over access rights to advantageous fishing locations along the rivers and shores, but intercommunity relations were mostly defined by potlatches to which leading personalities from far and wide were regularly invited. (McNeill & McNeill 2003:20-21)

Habiendo suficientes insumos, poblaciones más grandes y formas de organización más complejas pueden evolucionar. Si la forma de vida de estas numerosas comunidades no hubiera estado dentro de los límites de la biocapacidad local, evidentemente no habrían logrado permanecer en el mismo lugar por casi dos milenios continuos. Si su éxito como pescadores hubiera llevado a las poblaciones de peces a la extinción, esta forma de vida habría desaparecido con ellos, en una instancia más de selección natural.

The severe landscapes of the Arctic coastline make the parallel achievements of Inuit (Eskimo) whale hunters even more remarkable. Techniques for successful whaling developed about 800 C.E., when skin boats large enough to carry a crew of eight men, and harpoons with detachable heads reliably attached to skin floats, made it possible to pursue and kill even so large a creature as a wounded whale. In summertime, at key places along the Alaska coast both north and south of the Bering Strait, migratory whales came close inshore to feed. Inuit whale hunters based themselves at these locations (scores or even hundreds of miles apart) wherever prevailing winds, currents, and the shape of the shoreline gave them the best opportunities. In the eighteenth century, a single Inuit whaling

crew expected to capture a dozen or more whales in a season; and since each whale weighed several tons, their catch sufficed to support hundreds of persons. [...]

Its efficiency in exploiting resources of the Arctic shoreline was such that this style of Inuit technology spread rapidly along the eastern Siberian coastline and across northernmost Canada, even penetrating places where whales never came and the inhabitants had to subsist on seals and walrus as before. On the west coast of Greenland, between the thirteenth and fifteenth centuries C.E., expanding communities of whale hunters encountered Norse colonists. Armed clashes with the Inuits probably hastened the extinction of the Norse Greenlanders; and in later times similar warfare, involving the use of whalebone armor, also occurred among rival Inuit communities in Alaska.

Yet peaceable assemblies, involving as many as a thousand persons, also took place along the Alaskan coast in the eighteenth century and presumably before. Far-ranging trade connections, both with caribou hunters inland and with coastal communities in Asia (whence apparently a few pieces of manufactured iron reached the Inuits before European ships arrived to the scene), added to the whale hunter's resources. By any standard, their achievement in exploiting the bleak Arctic environment ranks as an amazing example of human ingenuity and adaptability. (McNeill & McNeill 2003:21-22)

Conforme los territorios son ocupados por poblaciones con alto nivel de eficiencia, también se establecían intercambios entre los diversos grupos, especializados en aprovechar distintas fuentes de alimento. Por la misma razón de la curva de aprendizaje necesaria para aprovechar eficientemente nuevas fuentes de alimento, en muchos casos será más eficiente buscar intercambios con otros grupos o personas que ya han adquirido dicho conocimiento y eficiencia. En cambio, emprender una guerra requiere de una considerable inversión de energía, la cual no siempre está disponible y sólo puede entenderse si el terreno en disputa es capaz de proveer una ganancia que haga valer dicha inversión. Regiones

privilegiadas como las de la Costa del Pacífico fueron constantemente disputadas y defendidas. Por lo mismo, poblaciones que lograran adaptarse a terrenos menos fértiles, como los Shoshone, podían disfrutar de una relativa calma, llevando una forma de vida más pacífica.

La vida sedentaria, en grupos numerosos que dependen de fuentes de alimento extraordinariamente abundantes, no siempre es mejor. Si dicha fuente extraordinaria llega a agotarse (ya sea por sobreconsumo o por otros factores) el hecho de que no existan fuentes comparables en los alrededores implica que dichas comunidades no podrán sostenerse sin ella. Mientras mayor es la complejidad del grupo humano en cuestión, mayores son sus necesidades en términos de insumos, y mayor es su vulnerabilidad ante la suspensión del flujo que le alimenta. Formas de vida que dependen de insumos mucho menores, tendrán menos dificultades en encontrar una fuente alterna de alimento si es que aquella de la que se alimentaban por alguna razón dejó de estar disponible. Formas de vida que han invertido mucho esfuerzo en construir infraestructura sedentaria pueden tener que abandonarlo todo si la fuente que les alimentaba se interrumpe. Poblaciones que invierten menos en infraestructura, construyendo sólo refugios temporales y sin acumular pertenencias que no puedan cargar consigo, tienen la ventaja de una movilidad incrementada, lo cual puede facilitar mucho su adaptabilidad ante episodios de cambio climático o ecológico. En ciertas condiciones, los “simples” tienen ventaja.

El poblamiento de los distintos hábitats, con diferentes formas de vida y estilos de adaptación, no avanza necesariamente en la dirección de poblaciones mayores, sedentarias y con formas de organización más complejas. Dependiendo de las circunstancias, diferentes formas de vida tendrán ventaja. Ante cambios impredecibles del ambiente y los ecosistemas, la diversidad de formas de adaptación, la diversidad de estrategias adaptativas es lo que favorece la continuidad de la especie.

Otro de los grandes logros conocidos de la cultura del Paleolítico es el famoso arte rupestre magdaleniense. Los impresionantes hallazgos en lo que hoy es el sur de Francia y el norte de España dan una idea de la riqueza de la vida

cultural y espiritual de los cazadores-recolectores que habitaban dichas regiones hace unos 15,000 años. Dada la sofisticación de las técnicas de pintura y su asombrosa durabilidad, se considera que los artistas eran profesionales que tenían suficiente tiempo libre para desarrollarlas, lo que hablaría de una sofisticación en su forma de adaptación social. Parece ser que la llamada sociedad magdalenense aprovechaba la geografía de la región para emboscar a los venados en ciertos pasos obligados entre las montañas, en sus migraciones estacionales entre las zonas de pastura invernales y veraniegas. Es posible que los magdalenenses hayan aprendido a construir trampas y almacenar la carne (quizás utilizando también el método del ahumado), aunque no hay vestigios que lo comprueben. Por qué se interrumpió esta forma de vida tampoco se sabe a ciencia cierta. Como narran McNeill y McNeill:

Climate change eventually allowed forests to grow on what had been a lush tundra, fed by moisture and warmth from the Atlantic; and as that occurred, reindeer migrated northward. Magdalenian hunters may have gone with them. But, like North American potlatches and totem poles, the cave art they left behind constitutes an extraordinary example of what humans can do with spare time when seasonal harvesting of food suffices year round. (McNeill & McNeill 2003:23)

Nuevamente, vemos que las formas de vida más sofisticadas dependen de condiciones particulares que pueden verse interrumpidas: formas más simples y versátiles pueden continuar ahí donde las primeras no lo lograron. La variedad de estrategias fue lo que permitió la expansión y subsistencia de grupos humanos en un largo periodo —el Pleistoceno— que estuvo marcado por cambios climáticos extremos. En su avance por los continentes, los humanos no sólo enfrentaban el desafío de incrementar la eficiencia de sus métodos de caza y recolección, sino también de no ejercer una presión excesiva sobre las poblaciones de las que se alimentaban. Como explica Harris, en la Europa septentrional y occidental:

Hacia finales de la última glaciación, la región situada al sur de los glaciares recibió torrentes de agua procedentes del deshielo que favorecieron el

crecimiento de praderas en las que pastaban enormes manadas de caballos, bisontes, mamuts y renos. A medida que se retiraban los glaciares, se formaron exuberantes praderas vírgenes que fueron invadidas por estos animales y por los depredadores humanos que los perseguían. En ellas prosperaron sendas poblaciones de animales y humanos; pero, sin que ellos lo supieran, su mutuo estilo de vida estaba condenado. Las praderas eurasiáticas eran simplemente una fase ecológica temporal.

Hace unos 12,000 años, los árboles empezaron a invadir las praderas. Bajo el dosel frondoso de los bosques, no podía crecer la hierba. Hacia el año 10,000 A.C. gran parte de la llamada *megafauna pleistocénica* (*mega*=enorme; *fauna*=animales) se había extinguido en Europa. El rinoceronte y el mamut lanudos, el bisonte de las estepas, el alce gigante y el asno salvaje desaparecieron. Sin duda alguna, los cazadores, extraordinariamente hábiles, del Paleolítico superior contribuyeron a esta catástrofe ecológica, de la misma manera que los cazadores del Nuevo Mundo probablemente desempeñaron un importante papel en la extinción de la megafauna del Pleistoceno en el Nuevo Mundo. Los elefantes, los rinocerontes y otros géneros habían sobrevivido a los numerosos avances y retrocesos de las praderas y los bosques que se produjeron durante todo el Pleistoceno. El factor nuevo en esta situación pudo haber sido la eficiencia sin precedentes de la tecnología del Paleolítico superior (Martin1984) (Harris 1998:202-203)

A diferencia de los cazadores de ballenas, los cazadores de megafauna en las altiplanicies de Norteamérica tampoco sobrevivieron al paso de los milenios. Las llamadas culturas Clovis dejaron de existir hacia el 11,000 A.C., probablemente a causa de la desaparición de las presas que cazaban. La forma de vida especializada en la cacería de mamuts desapareció con la muerte de los últimos ejemplares de esta prodigiosa especie.

A los cazadores Clovis de mamuts les sucedieron otros cazadores de caza mayor equipados con diversas variedades de flechas más pequeñas, pero

finamente trabajadas. Una de ellas, denominada folsom, se empleó para matar especies ahora extinguidas de bisontes en las llanuras centrales desde Montana hasta Texas. Se han hallado tradiciones regionales de caza mayor distintas, pero posiblemente relacionadas y de antigüedad comparable en el valle de México, en los Andes desde Argentina hasta Chile y Venezuela. Uno de los tipos más interesantes es el de la cueva de Fell, cerca del estrecho de Magallanes, en el extremo meridional de Sudamérica. Aquí se han hallado útiles líticos, incluidas puntas acanaladas, junto con restos de perezosos y caballos americanos extintos, lo que revela que los ancestros de los «indios» americanos ya se habían extendido desde Alaska hasta la punta de Sudamérica desde hace 11,000 años. De los útiles y restos animales relacionados con ellos parece deducirse que, en estrecho paralelismo con el Paleolítico superior terminal del Viejo Mundo, el modo de producción dominante era la caza mayor especializada. Como se indicó anteriormente, esto no significa que la caza mayor fuese el único modo de producción practicado por los paleoindios. Los cazadores y recolectores adaptados a la selva también desempeñaron un papel importante. (Harris 1998:241)

En su avance por los nuevos continentes, desde su salida de África hace unos cien mil años, el *Homo sapiens* fue encontrando amplios territorios con una diversidad de ecosistemas en los que había grandes animales de presa, muchos de los cuales hoy ya no existen. El aprendizaje humano incluye numerosos ejemplos en los que formas de vida que alcanzaron notables grados de eficacia no lograron sobrevivir, y en diversos casos parece que su declive se produjo como resultado de la combinación de “demasiado éxito” como depredadores y los severos cambios climáticos y ecológicos de finales del Pleistoceno. De acuerdo con Diamond:

Desde que hace 46,000 años se produjera la primera colonización humana, la del continente australiano, con la subsiguiente extinción acelerada de la mayor parte de los antiguos marsupiales gigantes y otros grandes animales

de Australia, toda colonización humana de una masa de tierra en la que anteriormente no había humanos —ya fuera en Australia, América del Norte, América del Sur, Madagascar, las islas del Mediterráneo o Hawái y Nueva Zelanda y docenas de otras islas del Pacífico— vino seguida de una oleada de extinciones de grandes animales. Estos grandes animales habían evolucionado sin temor a los seres humanos y, o bien eran fáciles de matar, o bien sucumbían ante los cambios de hábitat asociados a los seres humanos, las especies pestíferas introducidas o las enfermedades. Cualquier pueblo puede caer en la trampa de sobreexplotar los recursos medioambientales... (Diamond 2006:17)

Pero no hay que pensar que el aprendizaje de los cazadores-recolectores se limita a incrementar su eficiencia como consumidores “pasivos” y a no rebasar la biocapacidad “natural”: también descubrieron formas de fomentar activamente la productividad de los ecosistemas, favoreciendo diferencialmente el desarrollo de especies animales y vegetales que les resultaban provechosas. De acuerdo con McNeill & McNeill:

Overall, fire was by far the most potent device at their disposal for changing landscapes. By deliberately starting wildfires in the dry season, hunters could improve forage for the animals they hunted. Among the continents, Australia was most affected, since its dryness made fire especially powerful there. Tropical rainforests were usually too moist for firing, and food resources at ground level were scant, so human occupation of those environments was correspondingly slender. Savanna and temperate forest lands, on the other hand, could be fired easily in dry seasons, and human hunters did so throughout Africa, Eurasia and the Americas.

Fire breaks down organic material into the chemical nutrients required for new plant growth much faster than bacteria can do the same job. By setting wildfires and producing more ashes than volcanic or lightning fires could do, humans therefore accelerated the circulation of nutrients across successive plant generations, enlarging scope for some species and

marginalizing others. Accordingly, propagation of fire tolerant forms of vegetation was another mark of the human migration around the world. This was quite as important for plants as the die-off of large-bodied game was for animal life. (McNeill & McNeill 2003:15-16)

Los registros de polen muestran que los humanos ocasionaron fuertes cambios en la diversidad vegetal en cada continente que ocuparon. En la visión dicotómica clásica se plantea una ruptura radical entre la forma de vida de los cazadores-recolectores nómadas y los primeros agricultores sedentarios: mientras los primeros son “pasivos” frente al ambiente, sin conocimientos ni prácticas para controlarlo sino más bien “determinados por la naturaleza”, los segundos serían “activos” porque comienzan a gobernar racionalmente su entorno y, al hacerlo, se liberan supuestamente de las limitaciones impuestas por el ambiente. En realidad, como ya expuse, entre los mamíferos abundan los ejemplos de relaciones simbióticas entre ellos —consumidores de frutos con capacidad de movimiento— y las plantas con flores que, a través de los primeros, logran dispersar sus semillas. Se trata de un intercambio de beneficio mutuo que haría parecer que los verdaderos “inicios de la agricultura” son mucho anteriores a la aparición del *Homo sapiens* y de todos los homínidos. En la interacción entre primates y plantas con flores hubo, en efecto, una selección plenamente análoga a la que hay entre un agricultor y las plantas que cultiva, de la que, con el paso de generaciones y generaciones, surgieron las variedades con atractivos frutos de las que se alimentaban nuestros ancestros primates en los bosques de África. Nuevamente, ahí donde se plantea una ruptura radical podemos encontrar continuidad.

En su progresiva ocupación del mundo, las bandas de humanos nómadas fomentaban selectivamente aquellas plantas que les resultaban útiles. Estudios de bosques y selvas que se consideraban “naturaleza prístina”, “intacta” han mostrado que en realidad muchas especies que se consideraban “naturales” fueron introducidas e inducidas activamente por humanos (lo cual, en realidad, no debería verse como menos “natural”), demostrando que los “recolectores” en realidad conocían y practicaban diversas formas de “cultivo” mucho antes de lo que se reconocía. De manera semejante, la asociación permanente entre

humanos y lobos (que evolucionarían gradualmente hacia los perros) para formar unidades sociales *interspecies* de cacería es mucho anterior a lo que normalmente se reconoce como el inicio de la “domesticación de la naturaleza”.

3.3.2. Agricultores, pastores

En la visión de los primeros evolucionistas, se tomaba la falta de control sobre la naturaleza como signo de la “animalidad” de los “pueblos atrasados” o las “razas inferiores”. Más recientemente, antropólogos y diversos autores han buscado esgrimir argumentos contra estas visiones racistas y etnocéntricas defendiendo que los cazadores-recolectores son “tan humanos como nosotros”. Sin embargo, decir que “los cazadores-recolectores son animales” es una afirmación racista y degradante sólo si pensamos que nosotros mismos “somos más que simples animales”, sosteniendo alguna versión de la tesis de la excepcionalidad humana. Abandonando dicha dicotomía, yo preferiría insistir en que los cazadores-recolectores son “tan animales como nosotros mismos”, siendo la animalidad de ninguna manera un calificativo degradante, sino una noción que nos permite ubicar nuestro lugar y función dentro de los ecosistemas que habitamos, reconociendo también el desafío común que enfrentamos junto con el resto de los heterótrofos.

La idea de la “domesticación de la naturaleza” es fundamental en los relatos clásicos del origen de la civilización. Ahí se resume la lógica fundamental de la dicotomía oposicional humano-naturaleza. ¿Qué significa “domesticar”? Fundamentalmente: traer algo que es propio del mundo natural y transformarlo en algo propio del mundo humano. Es interesante que la idea de “domesticación” tiene raíces etimológicas en *domos*, el griego antiguo para “casa”, de donde también se ha derivado “domar”, “dominar” y “dueño”. Pareciera establecerse así una dicotomía básica entre el mundo que está bajo dominio humano —su casa— y el mundo natural, salvaje. Domesticar a otros seres vivos, pues, implicaría someterlos al dominio humano. Y en efecto, cualquier caso de “domesticación” de

un animal o planta se describe convencionalmente en términos del establecimiento de una relación sujeto-objeto, donde los humanos llevan la parte activa, el control, y los no-humanos adquieren un papel pasivo, son instrumentalizados. Realizarse como agente de dominio, como amo de la casa y, progresivamente, amo del mundo, es lo que se considera la realización de lo “verdaderamente humano” por lo que, en lo que normalmente se toma como una descripción técnica y objetiva (la “domesticación”), encontramos la esencia básica del mito de origen de la civilización. Sería el ingenio humano —la Razón, planteada como una cualidad cuasi-divina— el que tiene el poder de transformar la esencia de las entidades naturales para convertirlas en variedades cultivadas, cuyas características responden a las necesidades humanas casi como las criaturas del mundo obedecen al diseño y los propósitos del Creador. En la medida en que los humanos establecen este tipo de relación con otros seres es que se afirman a sí mismos como supuestamente superiores, trascendentes al mundo natural. Por eso es tan importante la idea de la domesticación, por eso se considera que marca radicalmente un antes y un después, un acontecimiento verdaderamente fundacional: sería prácticamente como la irrupción del mundo espiritual en el mundo terrenal, hito que inaugura la historia de progreso como creciente dominio sobre la naturaleza.

Resulta gracioso encontrarse de vez en cuando con voces alarmadas ante la posibilidad de que, en realidad, las plantas nos dominen a nosotros y no nos hayamos dado cuenta. ¿No podría ser que las plantas hayan desarrollado tan seductores frutos para esclavizarnos y obligarnos a eliminar ecosistemas enteros alrededor del planeta para cultivarlas, dedicando impresionante energía, tiempo y esfuerzo a cuidarlas, protegerlas y “servirlas”? Alguien podría responder que eso es imposible puesto que ellas no tienen cerebro (asumiendo que el cerebro es donde reside la facultad de dominar a otros). Pero quizá, como dicen Margulis y Sagan (2009:174), las plantas no necesiten un cerebro: se sirven de los nuestros para dominar el mundo. En realidad, podría hacerse una buena defensa de esta ridícula hipótesis, al menos tan buena como la que hemos hecho diciendo que somos nosotros los que las dominamos a ellas.

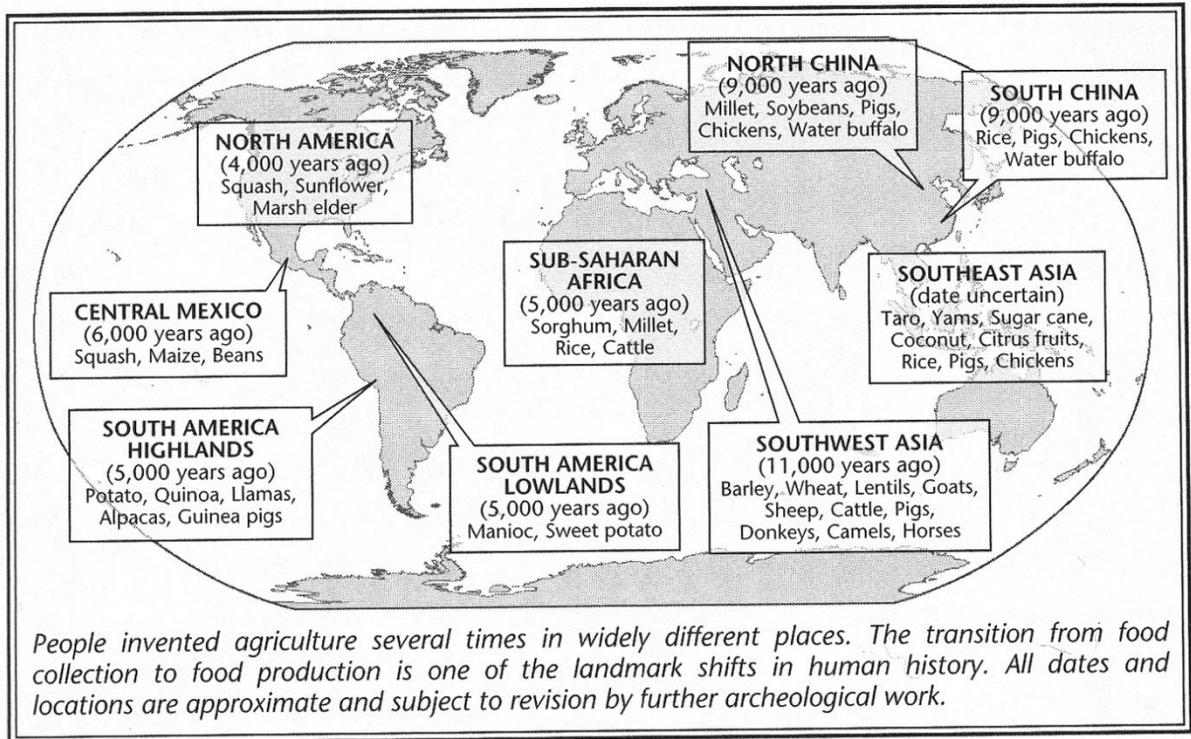
Ya he adelantado cual es mi postura en este punto. La misma razón por la que no podemos ser “determinados por el ambiente” es la razón por la que no podemos dominar completamente a otro ser vivo (ni mucho menos a un ecosistema completo). La autonomía fundamental de los seres vivos implica que su comportamiento no puede ser determinado como si se tratara de autómatas mecánicos: sólo pueden recibir “perturbaciones” del ambiente, ante las cuales reaccionan de un modo u otro en función de sus características particulares como seres vivos (filogenética y ontogenéticamente especificadas). En la interacción entre dos seres vivos es lo mismo: cada uno forma parte del ambiente del otro, constituye una fuente más de perturbaciones, ninguno puede determinar el comportamiento del otro. En la visión clásica, nos gusta ver a los otros seres vivos como autómatas para sentirnos en control. Romper con la lógica de la excepcionalidad humana implica, entre otras modificaciones, reconceptualizar las relaciones que tradicionalmente hemos entendido como de “domesticación” en términos más bien de coevolución, acoplamiento estructural, interdependencia y simbiosis (ver 2.3.7-8). Desde este punto de vista, no hay tal cosa como la “domesticación de la naturaleza”, sólo una variante más en las incontables formas en que los seres vivos se influyen mutuamente y coevolucionan formando asociaciones y relaciones de interdependencia. La proliferación de la agricultura no marca una ruptura fundamental, implica más bien un estrechamiento de relaciones de acoplamiento que ya existían desde antes.

En el relato convencional de progreso como creciente dominio de la naturaleza, se asume que el origen de la agricultura fue un paso deliberado y racional que en los últimos diez mil años, inauguraba una época de abundancia y seguridad. Desde esta visión, algunos autores asumen que el inicio de esta fase superior debió producirse algún incremento en nuestras capacidades intelectuales (se ha intentado correlacionarlo con algún incremento de la capacidad craneana). Sin embargo, diversos autores coinciden en sugerir que los cazadores-recolectores conocían desde mucho antes los rudimentos del cultivo de plantas, pero no dedicaban demasiado tiempo y esfuerzo en ello. En sus inicios, la agricultura como base de la subsistencia era, comparativamente, una estrategia

sumamente ineficiente: requería gran cantidad de trabajo y dedicación y lo que se obtenía al final era poco en comparación con lo que se podía obtener con otras estrategias (caza, pesca, recolección). Era necesario invertir mucha energía y tiempo en cultivar una planta que, al final, permitía una dieta mucho menos rica y diversa. En comparación con los cazadores-recolectores, los primeros agricultores tenían mucho menos tiempo libre y una peor calidad de vida. Además, todo el esfuerzo invertido podía perderse fácilmente, hay muchas maneras en que una cosecha podía perderse o ser “robada” por otros animales. Comunidades que invirtieran demasiado tiempo y energía en cultivar una única fuente de alimento eran más vulnerables ante contingencias e imprevistos. ¿Por qué entonces decidieron cambiar a esta estrategia, a todas luces menos conveniente?

Parece que, en vez de una decisión racional por una estrategia más segura y eficiente, el origen de la agricultura se debió a que grupos humanos se vieron obligados a depender de una estrategia que era menos eficiente y que implicaba mayores riesgos. Es posible que la explicación se encuentre en el agotamiento de otras fuentes de alimento, en tiempos en que ya todos los continentes habían sido ocupados y muchas presas que alimentaron a los humanos en su expansión por el planeta habían desaparecido por una conjunción de los drásticos cambios climáticos de finales del Pleistoceno y el exceso de cacería humana. Es posible que, en lugares especialmente fértiles, comunidades humanas se hubieran asentado y, entre una diversidad de fuentes de alimento, tuvieran tiempo para experimentar con ciertos cultivos y que, posteriormente, hayan enfrentado crisis de agotamiento de alimentos (sea por cambios climáticos, por sobreconsumo, o más probablemente por una mezcla de ambas cosas) por lo que se vieron obligados a invertir gran cantidad de energía en reproducir aquellas plantas que podían proporcionar alimento, incluso a pesar de sus bajos rendimientos. Con toda seguridad, este tipo de situación se presentó en muchos lugares distintos, y muchos grupos humanos pueden haber intentado —con mayor o menor éxito— sostener su vida durante periodos de escases a partir de plantas cultivadas. Sólo algunos de estos intentos habrían sido exitosos, dando lugar a lo que hoy

conocemos como los centros de origen y diversificación de las plantas “domesticadas” estudiados originalmente por Vavilov.



Múltiples invenciones de la Agricultura (McNcneil & McNeil 2003:27)

Estos intentos bien pudieron haberse producido también en periodos de crisis anteriores, sin embargo el cambio climático constante en el Pleistoceno habría hecho imposible que dichos experimentos pudieran tener continuidad por tiempo suficiente para que nosotros podamos reconocer una modificación morfológica de las plantas cultivadas que las separe de sus variedades “silvestres”. El desarrollo de la agricultura como la conocemos actualmente —con variedades cultivadas altamente productivas, con comunidades que han acumulado enormes conocimientos que hacen de dicha práctica una estrategia eficiente— no habría sido posible si no se hubiera estabilizado el clima a nivel global. A diferencia del escenario de grandes cambios climáticos que predominó en el Pleistoceno, el Holoceno —que es como se denomina al periodo geológico que corresponde a los últimos 10,000 años— se ha caracterizado por una impresionante estabilidad

climática, un “largo verano” con alta humedad que ha permitido el lento desarrollo de la agricultura hasta llegar a ser lo que hoy conocemos.

Podríamos analizar el desarrollo de la agricultura como la interacción de tres subprocesos: la modificación genética de las plantas involucradas, el aprendizaje de los grupos humanos, y las modificaciones del ambiente. Más allá del simple acto de colocar la semilla en la tierra, los humanos fueron aprendiendo que hay una gran cantidad de intervenciones sobre el ambiente que favorecen el desarrollo de la planta, incrementando su productividad y la eficiencia de todo el proceso. Poco a poco, los humanos fueron encontrando las mejores maneras de invertir su energía realizando trabajo que beneficia el desarrollo de la planta, lo cual incluye identificar y mantener las condiciones óptimas en términos de humedad, iluminación, tipo de suelo, condiciones ecológicas favorables, protección de plagas y otros animales, etc. Una planta que se desarrolla de manera independiente tendrá que invertir energía en desarrollar raíces amplias y profundas para alcanzar el agua, tendrá que desarrollar tallos y hojas para competir con otras plantas por el acceso a la luz solar, y su éxito reproductivo dependerá de la suerte de que las semillas caigan en lugares adecuados. Despejando el suelo de plantas competidoras, cuidando la humedad y eligiendo el tipo correcto de suelo, los humanos pueden incrementar enormemente la eficiencia reproductiva de la planta. Al mismo tiempo, el hecho de que las plantas cultivadas tengan que invertir menos energía en hojas, tallos o raíces les permite invertir más energía en producción de frutos, semillas, etcétera. Los humanos aprendieron a seleccionar, en cada generación, las plantas que presentan las características más atractivas —frutos más grandes, mayor cantidad de semillas, incremento de cualquier parte comestible o aprovechable o cualquier otra ventaja que facilite su cultivo—. Con el paso del tiempo, veremos comunidades humanas que han acumulado grandes conocimientos sobre las variables que influyen en la productividad de las plantas, que saben cultivarlas con la mayor eficiencia en términos de inversión de energía como trabajo, que cultivan variedades de plantas más productivas —piénsese en la evolución del teocintle al maíz— y en ambientes locales progresivamente modificados para favorecer los cultivos. Con el paso del

tiempo, se desarrollan relaciones simbióticas en las que las comunidades humanas dependen de ciertos cultivos como su insumo básico y los cultivos, a su vez, dependen de los humanos para su reproducción: las variedades cultivadas en general no pueden reproducirse por sí solas, pues para poder invertir su energía en producir esos grandes frutos necesitan del trabajo humano que les elimine competidores, les favorezca la humedad, etc.

El paso de la caza y recolección a la agricultura no es, sin embargo, ninguna liberación de las restricciones impuestas por la naturaleza. Como bien sabe cualquier comunidad agricultora, la producción está sujeta a los límites de la biocapacidad local en múltiples sentidos. Se trata de la misma situación que ya hemos visto antes. Conforme los agricultores incrementan la eficiencia de sus procesos productivos, incrementando la productividad, también encontrarán distintos “factores limitantes” como los que analizaba Lotka: la humedad, la presencia de ciertos nutrientes en el suelo, la iluminación, etc. Nuevamente, los humanos encuentran que a partir de cierto punto, la eficiencia del proceso no incrementa sino que, al contrario, comienza a disminuir: los rendimientos comienzan a ser menores. En algunos casos, los humanos podrán encontrar maneras de intervenir para incrementar la productividad, por ejemplo, acelerando el ciclo de nutrientes de regreso al suelo (fertilización de suelos cultivados), alternando cultivos o dejando reposar los suelos para que recuperen su fertilidad, etc. Pero aún con la técnica mejorada, encontrarán nuevamente en algún punto otros factores limitantes y rendimientos decrecientes. Siendo que la agricultura demanda un cuidado intensivo y permanencia en un solo lugar, la importancia del aprendizaje para mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad local se vuelve aún más acentuada. Agricultores que sean muy eficientes en cultivar ciertas plantas pero no logren recuperar la fertilidad de los suelos, acabarán por tener que abandonar los lugares en los que quizás invirtieron mucha energía para construir un sistema de riego, además de sus casas y demás infraestructura propia de la vida sedentaria. De manera enteramente análoga a lo que sucede con los cazadores-recolectores, tener que comenzar todo de nuevo en un lugar distinto implica un periodo de aprendizaje y gasto de energía extra, por lo que el incentivo

a quedarse y mantenerse dentro de la biocapacidad local es muy fuerte. Comunidades que se vean obligadas a dejar su lugar y tener que buscar uno nuevo —con las condiciones propicias para sus cultivos— pueden atravesar profundas crisis que dejarán huella en la memoria colectiva, lo que en el mejor de los casos les brindará un aprendizaje (alguna nueva variable o situación que considerar) que incrementa su capacidad de estabilizarse en el nuevo lugar. Regresando a la gráfica del desafío común de los heterótrofos, la supervivencia a largo plazo de los agricultores depende de que logren mantener sus actividades productivas dentro de los límites de la biocapacidad local.

El progreso (mejoramiento) hacia formas de agricultura cada vez más eficientes y estables es resultado tanto de la creatividad genética de las plantas cultivadas (los humanos sólo pueden seleccionar entre lo que las plantas son capaces de producir) y la creatividad y aprendizaje de los cultivadores humanos. El mejoramiento de herramientas utilizadas para el cultivo, cosecha, desbroce, técnicas de riego, almacenamiento de semillas, etc.; el incremento en el conocimiento de las plantas y sus necesidades, asociaciones de cultivos, etc.; el incremento en el conocimiento de los ecosistemas locales, variaciones estacionales, tipos de suelos, interacción con hongos, insectos, aves, etc.; todo esto puede incrementar significativamente la eficiencia de cualquier cultivo particular. Al mismo tiempo, diversificar los cultivos trae muchas ventajas: incremento de la producción de alimento sin rebasar la biocapacidad (cada planta tiene distintos requisitos, consume distintos nutrientes en el suelo), menor vulnerabilidad ante la pérdida de una cosecha en particular, mejor dieta, mayor adaptabilidad a cambios climáticos, etc. Progresivamente, las comunidades adquieren conocimientos que les permiten manipular una gran cantidad de elementos en sus ambientes locales, con lo cual el ecosistema en conjunto será cada vez más distinto a los ecosistemas no intervenidos, dando lugar a lo que hoy en día se conoce como agroecosistemas.

Un proceso enteramente análogo se llevó a cabo con diferentes especies animales. Especialmente aquellas especies que viven en manadas —borregos, cabras, reses, camellos, etc.— pudieron adaptarse a vivir formando unidades

sociales con los humanos, de quienes obtenían a veces alimento, protección de otros depredadores, u otro tipo de cuidados. Cuando los humanos adquirieron mayor influencia sobre la reproducción de estos animales también pudieron seleccionar variedades que daban mayores productos, por ejemplo lana o leche. La modificación genética en algunos casos debió ser recíproca, pues, por ejemplo, los humanos eran intolerantes a la lactosa y tuvieron que ser también “seleccionados” aquellos que podían beber leche siendo adultos. Además de productos alimenticios, los animales pudieron proporcionar muchos otros materiales utilizables, incluyendo abono para los suelos y también se aprendió a utilizar su fuerza de trabajo para carga o para cubrir algunas de las tareas más pesadas de la agricultura. Aprendiendo a integrar unos procesos con otros y a generar múltiples mecanismos de retroalimentación positivos, los humanos lograron incrementar la productividad de ecosistemas enteros y favorecer su continuidad en el tiempo. Como heterótrofos, sólo podemos vivir dentro de los límites de la biocapacidad de los ecosistemas de los que nos alimentamos, pero hemos aprendido diversas maneras de potenciar e incrementar activamente su productividad.

Como resulta evidente, la acumulación de conocimiento que implica todo este proceso es necesariamente una forma social de cognición, posible únicamente gracias al lenguaje. Los humanos son capaces de generar vocabulario y consensuar conceptos para describir situaciones y generar explicaciones. Generarán nombres para distinguir cada planta que les sea relevante, los tipos de suelos, la afinidad entre especies y cualquier otra variable que, en su historia particular de aprendizaje, haya demostrado ser importante para su forma de adaptación al hábitat en el que se encuentran. Los estudiosos de la etnobotánica, etnoedafología, etnozooloía, etnomicología, etc. han explorado las diversas formas en que los llamados pueblos indígenas construyen taxonomías completas de todos estos elementos integrándolas en amplios marcos de referencia con los que explican los fenómenos de su mundo y orientan la conducta de los miembros de ese grupo para favorecer su eficacia dentro del ambiente en el que se desenvuelven. Contra la idea positivista moderna de que sólo es posible hacer

ciencia dentro de una cosmovisión materialista atea —como la que es dominante en la cultura occidental postcristiana que, como vimos, ha abandonado toda referencia al mundo espiritual pero sigue entendiendo el mundo material como *res extensa*— existe una diversidad de estudios y autores que muestran sin lugar a dudas que es posible hacer ciencia en otros marcos cosmológicos.

Un ejemplo interesante es el que aporta Roy Rappaport (1987) en su clásico estudio sobre la ritualidad de los Tsembaga en Nueva Guinea. El trabajo de Rappaport busca situar la cultura en el contexto de las relaciones de los humanos con los ecosistemas que habitan. En vez de observar los rituales como conductas simbólicas sin ninguna funcionalidad práctica más allá del efecto psicológico sobre sus practicantes, Rappaport documenta el modo en que el ciclo ritual de los Tsembaga, que establece una serie de prohibiciones y tabús sobre distintas formas de intervención humana en los ecosistemas, tiene la función de mantener una “homeostasis” entre las comunidades y el entorno. Los Tsembaga, tienen una forma de vida sedentaria basada principalmente en la horticultura y la cría de cerdos, complementada con actividades de caza y pesca, habitando el bosque tropical de las islas de Nueva Guinea. Para ellos, las entidades fundamentales que gobiernan el mundo natural son los espíritus de la parte alta y baja de la montaña, así como los ancestros. Dentro de esta cosmovisión, articulan un sofisticado repertorio de descubrimientos empíricos: para no hacer enojar al espíritu de la parte baja de la montaña, por ejemplo, hay que respetar la prohibición de pescar anguila durante ciertas temporadas. De no cumplir con esta prohibición, el espíritu encargado de proveer anguilas para los Tsembaga se enojará y no les dará anguilas. Es fácil ver que, dentro de este marco explicativo, por muy ajeno que resulte a la mentalidad occidental atea moderna, es posible acumular datos obtenidos mediante la experiencia en un marco explicativo amplio que ayuda a guiar la conducta de los miembros del grupo. En particular, Rappaport describe una compleja serie de ciclos rituales que definen los tiempos en que es posible cultivar en tales tierras o cuando hay que dejar que el bosque se regenere, cuando es posible cazar en lo alto de la montaña y cuando no, etc. Rappaport argumenta convincentemente que todos estos ciclos rituales y

prohibiciones permiten a los Tsembaga mantenerse dentro de los límites de la biocapacidad local. Para llegar a ese punto, en el que el ciclo ritual incluye tantas variables y las armoniza dentro de una cosmovisión que hace sentido a los miembros del grupo, es necesario un amplio proceso de aprendizaje y cognición colectiva, en el que muchas observaciones y experiencias vividas a lo largo de generaciones, en la interacción con todos esos elementos del entorno, se codifican y articulan en un marco coherente. Por mucho que le pese al orgullo occidental que trata de postular un excepcionalismo etnocéntrico, esto es hacer ciencia dentro de un marco cosmológico que podría considerarse animista.

3.3.3. Civilización

Llegamos así a un punto interesante en la discusión. Supongamos que llega un antropólogo a un continente recién descubierto. En su exploración, el antropólogo encuentra una diversidad de ecosistemas, dentro de los cuales existe una diversidad aún mayor de formas de adaptación humanas. Hay diversos tipos de cazadores-recolectores seminómadas que habitan zonas áridas y de muy baja productividad. Hay también diversos tipos de cazadores-recolectores sedentarios que habitan áreas de gran productividad. Hay agricultores y pastores que habitan otros ecosistemas. Todos ellos han logrado acumular conocimientos y desarrollar formas de vida eficientes en sus respectivos hábitats, han desarrollado tecnologías adecuadas para sus propósitos y tienen diversas formas de vida social coloreadas por asombrosas particularidades culturales, vida espiritual, arte, etcétera. Entre los diversos grupos hay ciertamente episodios de hostilidades y conflictos con uso de violencia, pero hay también intercambios comerciales en los que intercambian los productos que cada grupo está especializado en producir. El antropólogo encuentra que este vasto continente está enteramente poblado, y que en conjunto está atravesado por una serie de rutas de intercambios comerciales y culturales, de imitación y difusión de tecnologías y conocimientos, con influencias culturales multidireccionales entre los diversos grupos humanos. El antropólogo encuentra,

entonces, arte, ciencia, cultura, espiritualidad, comercio, desarrollos tecnológicos y acervos de conocimientos acumulados a partir de evidencias empíricas codificadas y acumuladas en marcos conceptuales coherentes (ciencia)... encuentra asentamientos sedentarios que pueden lograr altas densidades poblacionales y sin embargo, desde la tipología de formaciones socio-políticas del antropólogo, en este continente no hay, formalmente, “civilización”.

¿Cuál es el elemento faltante, definitivo, para identificar una “civilización”? Podemos encontrar la respuesta tendiendo nuevamente a las etimologías. Las raíces latinas *civis*, *civilis*, *civitas*, *civitatis*, designan a la “ciudad”, lo que es propio de la ciudad, los “ciudadanos” y la vida civil, considerándose la ciudad como “el mundo humano por excelencia”. La dicotomía campo-ciudad es fundamental: la estructura político territorial básica de una civilización es un centro dominante (la metrópolis, la capital) y un relativamente amplio territorio dominado (*hinterland*) que estará habitado por distintas comunidades campesinas productoras (típicamente multiétnicas) y que incluye una diversidad de recursos naturales. La dinámica básica de una civilización es, precisamente, que las comunidades productoras, además de sostenerse a sí mismas, envían un excedente productivo como “tributo” o “impuesto” hacia el centro dominante, el cual acumula el excedente proveniente de todo el territorio. El centro no sólo acumula el excedente productivo sino la facultad de tomar decisiones: ahí radica la asimetría de poder fundamental para reconocer una civilización, el centro domina a la periferia, la élite de la ciudad toma decisiones y las impone sobre las poblaciones campesinas. La acumulación de excedente productivo en las ciudades impulsa el desarrollo de especialistas de tiempo completo en áreas que no son la producción directa de alimentos (campesinos) ni utensilios (artesanos), sino especialistas de la guerra (soldados, altos mandos), de la religión (sacerdotes) y de la administración (escribanos, élites gobernantes).

Para los centros dominantes no hay mayor éxito que incrementar el flujo de excedente que los alimenta y les da poder: incrementar la grandeza de su imperio. En muchos casos, la dinámica básica de la civilización (la acumulación de excedente productivo en un centro dominante) da lugar a un *feedback* positivo: la

acumulación de excedente permite crear ejércitos más numerosos y con armamento más sofisticado, lo cual a su vez permite ampliar el territorio dominado, con lo cual se incrementa el excedente acumulado, así se pueden sostener ejércitos aún más numerosos y sofisticados, para ampliar aún más el territorio dominado... Mientras más excedente acumule un centro dominante, mayor podrá ser su superioridad militar, con lo cual podrá allegarse aún más recursos: se trata de la típica dinámica civilizatoria de expansionismo militarista.

En este punto sí coincido con Adams: el elemento fundamental para identificar una civilización es esta relación de dominio y acumulación, por lo que más allá de las visiones idealizadas hay que entenderla en términos de imperialismo o sistemas totalitarios. En las visiones clásicas, encontramos obviamente un planteamiento muy diferente. Se asume que sólo las civilizaciones tienen verdaderamente cultura, arte, ciencia, desarrollos tecnológicos. Asumiendo que sólo las civilizaciones desarrollan realmente la razón, el establecimiento de un gobierno racional sobre los campesinos bárbaros no es la imposición violenta de un dominio extractivo sino incorporarlos a una cultura más avanzada, “civilizarlos”. La idea misma de la “capital”, que etimológicamente hace referencia a la cabeza, plantea una justificación de la relación de dominio en una metáfora casi cartesiana: como la relación entre mente y cuerpo. Las comunidades campesinas *necesitan* una “cabeza” que las guíe racionalmente, incluso si para ello es necesario utilizar la fuerza, la violencia y hasta el terror. Aquellas poblaciones humanas en las que todavía predomina lo salvaje, lo natural y animalesco, deben ser dominadas por centros de “cultura más avanzada”, serían como una bestia que necesita un amo que la dome. La situación se asemeja más bien —como dice Adams— a una “domesticación” de los campesinos que ahora pasan a cumplir las necesidades de los centros dominantes.

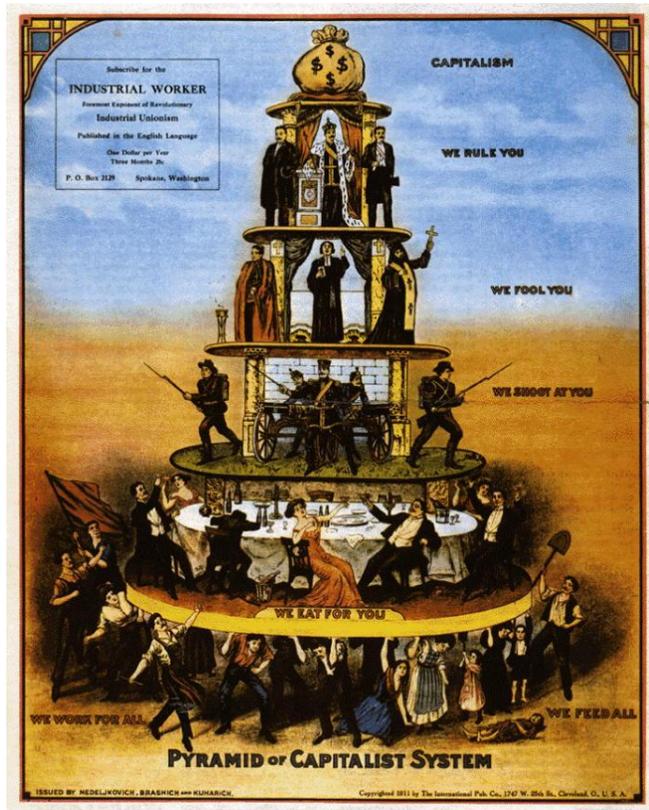
En muchos recuentos se asume simplemente que el origen de la agricultura es el origen de la civilización: con la capacidad incrementada de producir alimentos para sostener poblaciones numerosas se hace posible el “progreso” hacia formas más complejas y sofisticadas de vida humana. Es necesario distinguir que, conforme la agricultura se hizo más eficiente, pequeñas

comunidades pudieron disponer nuevamente de cierto tiempo libre (a diferencia de los primeros agricultores), consiguieron dietas variadas y desarrollaron formas de vida relativamente sofisticadas gracias a la acumulación de alimento. Pero en un escenario en el que hay muchas comunidades productoras como éstas, también se hace posible una forma de vida depredadora: grupos humanos que se especializaran en la guerra y el saqueo podían proliferar también. A diferencia de los cazadores-recolectores, parece ser que las comunidades sedentarias tienen una desventaja inherente en términos de defensa, son más fácilmente atacadas y dominadas. Si las poblaciones depredadoras se multiplicaban demasiado, las productoras campesinas podían verse seriamente amenazadas. Dado que su destrucción implicaría, a mediano o largo plazo, la destrucción de la fuente de alimento de los grupos depredadores, a fin de cuentas era más “sustentable” establecer un vínculo de parasitismo en el que los guerreros también defendían a los productores de otros grupos depredadores. Como señala Adams, el origen de la civilización debe haber sido más bien como el paso de una relación de depredación a una relación de parasitismo permanente.

Uno de estos casos es el de los mbaya y los guana del Paraguay, descritos durante la conquista, a mediados del siglo XVI. La condición de hostilidad continua entre distintos grupos dio lugar a que los guana, pueblo agricultor y tejedor con muy poca predisposición hacia la guerra, quedaran subordinados a la protección de los mbaya, una tribu guerrera seminómada. La información con que se cuenta no sugiere la presencia de sacerdotes entre los mbaya, ni en ese momento ni antes. El dominio que ejercían sobre los guana puede comprenderse en términos similares a los del feudalismo europeo temprano (con el cual lo compararon los observadores de la época de la conquista). Los guana aceptaban la protección de los mbaya ofreciendo a cambio subordinarse a ellos y brindarles un tributo en alimentos y otros productos. Es probable que en este caso el temor no se limitase a los mbaya mismos sino a un patrón general de ataques por parte de una serie de tribus guerreras en que los guana hubieran sido diezmados

repetidamente de no ser por la protección que les brindaban los mbaya.
(Adams 2007:235-236)

La típica estructura piramidal que caracteriza a todas las civilizaciones, en las que hay abundantes masas trabajadoras-productoras y una pequeña élite acumuladora de riqueza se explicaría por la misma razón que “son escasas las fieras” en los ecosistemas: cada peldaño en la pirámide trófica implica pérdidas entrópicas por lo que es necesario acumular el excedente de poblaciones numerosas para sostener elites relativamente pequeñas. No son sólo



habilidades militares las que se necesitan para sostener tal estructura: conforme las poblaciones subordinadas son más numerosas y los territorios dominados más amplios, fue necesario desarrollar complejos sistemas de escritura y monedas que permitieran administrar y llevar una contabilidad, así como llevar mensajes a través de distancias cada vez más largas. Evidentemente, la asimetría en las relaciones implica una fuente constante de inestabilidad social: las comunidades productoras, sujetas a violencia y trabajo excesivo para cubrir las necesidades y la vida lujosa de las élites ciudadanas en muchos casos podían intentar rebelarse a su situación de subordinación. Típicamente, la estabilidad de este ordenamiento asimétrico se sostuvo sobre dos pilares básicos: el dominio militar y la creación de una visión del mundo en la que la dominación está justificada. Parte importante de los excedentes acumulados se destinarían a sostener una clase de sacerdotes o ideólogos encargados de construir y sostener una mitología y cosmovisión en la que los campesinos deben subordinarse a las ciudades. En las ciudades se

construyeron grandes templos a divinidades supremas y se prohibieron los cultos y vidas espirituales de los pueblos autónomos. Paradójicamente, en cierto punto, la ostentación de lujos en la clase dominante podía convertirse en muestra de su superioridad radical sobre los simples campesinos: la parafernalia de un faraón y los impresionantes monumentos construidos en las capitales no podían sino hacer sentir inferiores a los pueblos dominados justificando así el orden asimétrico. Las ideologías de los grandes imperios, desde distintos marcos cosmológicos y utilizando diferentes mitologías, buscarán justificar la asimetría entre centros y periferias, justificar la acumulación y justificar el expansionismo.

Como explica Elinor Ostrom (2011), una idea fundamental en el origen de la ciencia política y la economía modernas es lo que últimamente se ha planteado como “la tragedia de los bienes comunes”. Se supone que, dejados a su suerte, las personas buscarán siempre su máximo beneficio egoísta y esto conducirá inevitablemente a una sobreexplotación de los recursos naturales de uso común. Es necesario, por lo tanto, o bien imponer un gobierno central —un Leviatán— que se encargue de administrar racionalmente los recursos, o bien privatizarlos y dejar que sea el libre mercado —la Mano Invisible— el que se encargue de generar espontáneamente un orden. La realidad es que ni el Estado ni el mercado han mostrado ser garantía de un manejo sustentable y racional de los recursos naturales. Y contra los prejuicios de que las comunidades son incapaces de administrar racionalmente sus propios recursos, Ostrom presenta una amplia revisión de estudios de caso en los que comunidades autoorganizadas, autónomas y en ordenamientos horizontales son capaces de idear reglas y mecanismos de autorregulación que les permiten aprovechar un pastizal o una pesquería compartida de manera sustentable por, a veces, siglos y hasta milenios continuos. La idea de que necesitan un centro dominante para sobrevivir no es sino una justificación más (en clave moderna) de la usurpación.

En realidad sucede más bien lo contrario. Cuando una comunidad agrícola es sometida al dominio de una civilización, además de sostener a su propia población se le impone ahora la carga adicional de generar un excedente productivo para el centro dominante. Producir este excedente será una obligación

que, de no cumplirse, puede hacer a la población ser sujeta de castigo imperial. Las consecuencias de lo anterior son trascendentales: cuando una comunidad pierde su autonomía, pierde su capacidad de decidir sobre sus actividades productivas y el aprovechamiento de los recursos. Si la eficiencia incrementada que una comunidad había logrado le permitía disfrutar de tiempo libre, ahora deberá utilizar ese tiempo libre para generar el tributo. En vez de optar libremente entre las estrategias que resultan más eficientes, es posible que ahora deba trabajar más allá del punto de rendimientos decrecientes para lograr producir el tributo que se le exige. Si en su aprendizaje colectivo una comunidad había establecido ciertas restricciones o prohibiciones para evitar rebasar la biocapacidad local, la imposición del tributo ahora puede obligarle a romper dichas prohibiciones, lo que pone en riesgo la continuidad del ecosistema. Como ya argumenté, el aprendizaje colectivo sobre cómo mantener la productividad del sistema a largo plazo —sustentabilidad— se verá cancelado o fuertemente obstaculizado cuando una comunidad pierde su autonomía y sus decisiones productivas pasan a estar exodeterminadas. Así, al pasar a formar parte de una civilización, las comunidades se verán impulsadas a rebasar los límites de la biocapacidad local.

No hay manera de que un agente externo, desde una ciudad lejana, pueda tener acceso a toda la información necesaria para hacer un verdadero uso racional de los recursos. Esa información solo está disponible para las comunidades que lo están trabajando y que han acumulado conocimientos detallados por generaciones. Especialmente en tiempos de guerra, la presión sobre las comunidades productoras será mayor, a veces incluyendo no sólo aportar excedentes productivos sino también que los hombres se enlisten en los ejércitos. Para los centros dominantes lo fundamental es mantener un flujo creciente de insumos y no importa mucho de donde venga. Dado que las comunidades productoras están siendo forzadas a producir más de lo que por sí mismas producirían, es posible que pronto empiecen a encontrar rendimientos decrecientes, y una vez llegado ese punto, por más que trabajen para cumplir con el tributo exigido, su productividad irá en declive. Lo anterior puede convertirse en

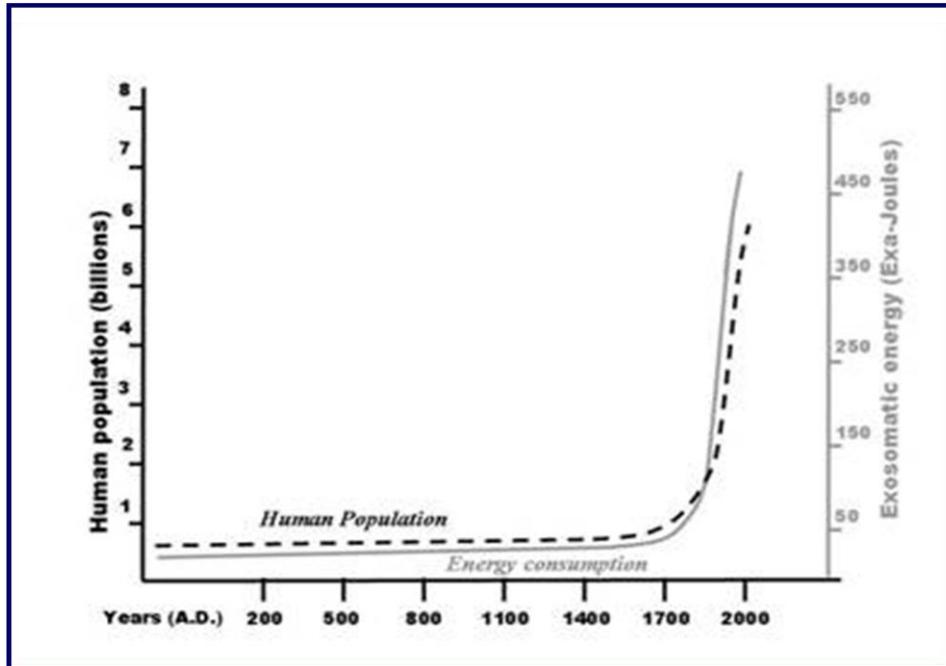
una verdadera crisis civilizatoria. Dado que la presión de sostener ciudades, ejércitos y élites derrochadoras ha impuesto una carga adicional sobre todos los ecosistemas, la decisión de expandirse ya no será simplemente una búsqueda de incrementar el dominio, sino una decisión de expandirse o colapsar. En este punto, la dinámica expansionista de las civilizaciones parece convertirse en una “adicción”: si dejan de incorporar nuevos territorios y comunidades a su dinámica interna, entonces colapsan. Algunos autores han descrito esta dinámica como una “huída hacia adelante”, las civilizaciones deben huir del colapso avanzando más y más en la misma dirección expansionista. La dinámica expansionista de las civilizaciones tiende inherentemente hacia el rebasamiento de la biocapacidad y, por lo tanto, hacia el colapso. La estrategia de “huída hacia adelante” no resuelve nunca el problema sólo lo posterga subiendo de nivel (como en el ejemplo de los gusanos). Mientras más se posterga el problema, incrementando el alcance territorial del imperio, mayor será el colapso. La carrera armamentista entre imperios por el dominio de todos los territorios conocidos no obedece simplemente a la ambición desbordada o la voluntad enloquecida de líderes megalómanos sino a una condición estructural que tiene a las civilizaciones al borde del colapso. Dicha presión, en combinación con la concentración de recursos y la formación de especialistas en las ciudades, ciertamente dio lugar a una enorme producción de innovaciones tecnológicas que permitieron una y otra vez evadir el colapso incrementando el alcance del dominio: con nuevas y mejores comunicaciones, transportes más eficaces, armas y técnicas de combate, fortificaciones y estrategias de defensa, etcétera. Sin embargo, en repetidas ocasiones se produjeron colapsos civilizatorios. Si el enorme insumo necesario para sostener esa monumental edificación se interrumpe, todo el sistema entra en crisis y puede colapsar. Cambios climáticos, desastres agrícolas, conflictos armados, rebeliones internas: muchos factores pueden detonar un colapso generalizado, luego del cual sobrevivirán, si acaso, pequeñas comunidades agrícolas o cazadores recolectores.

El hecho de que se observe el mismo proceso de desarrollo de civilizaciones en tiempos y lugares distintos no implica que haya una

direccionalidad universal e inevitable que apunta siempre hacia mayor complejidad y mayor gasto de energía. No es verdad que los sistemas más grandes y complejos tengan siempre ventaja. En vez de recurrir a un mal entendido “principio de Lotka” para explicar esta dinámica, sostengo que el modelo explicativo que se debe utilizar en este punto es el “principio de Gause” o principio de la exclusión competitiva. En periodos de crecimiento acelerado, cuando hay abundante disponibilidad de recursos, los maximizadores pueden tener ventaja, como la tienen los grandes imperios con sus ejércitos. Sin embargo, tarde o temprano se alcanzarán los límites. Un sistema tan adecuado para la expansión maximizadora difícilmente se estabilizará en un punto de alto consumo de recursos. Lo que observaremos, más bien, son colapsos. En estas situaciones, formas de vida con menores requerimientos en términos de inputs de energía y materiales podrán seguir existiendo en los territorios que no lograron sostener a los imperios colapsados.

3.3.4. Industrialización y globalización

Como especie, tenemos aproximadamente 150 mil años en el planeta —un lapso que es muy largo o muy breve dependiendo del contexto en el que se sitúe. La mayor parte de ese tiempo, estuvimos muy lejos de ocasionar una disrupción importante en el funcionamiento de la biósfera pero, de pronto, lo logramos. Durante muchos miles de años, la población humana total sobre el planeta se mantuvo por debajo de los mil millones (un *billion* en términos anglosajones), pero a finales del milenio pasado la población humana se disparó a niveles jamás vistos.



Población humana mundial (en miles de millones) y consumo energético exosomático (en exa-Joules) en los dos últimos milenios.

Mientras que en 1900 el mundo albergaba poco menos de 2,000 millones de personas, en 2000 ya éramos 6,000 millones, y cada uno de nosotros utilizaba, como media, cuatro veces más energía que sus antepasados hace 100 años (Flannery 2007: 80). La cantidad de energía consumida por los seres humanos a finales del siglo veinte representa casi 100,000 veces la energía utilizada por los humanos de principios del neolítico. De hecho, en el último siglo se utilizó más energía que en toda la historia anterior de la humanidad (McNeill 2003, citado en Fernández S/F: 5). De acuerdo con Richard Leakey & Roger Lewin, a finales del siglo pasado, los humanos consumíamos alrededor de 40% de la productividad primaria neta⁶⁸ del planeta, es decir que, de toda la energía disponible para

⁶⁸ La «productividad primaria» es la producción biológica (cantidad de material producido por unidad de tiempo) que ocurre mediante la fotosíntesis (por medio del cual las plantas verdes convierten energía solar, dióxido de carbono, y agua en glucosa y tejido vegetal) o quimiosíntesis (algunas bacterias en el mar profundo pueden convertir energía química en biomasa). Dicha productividad es afectada por diversos factores ambientales, incluyendo la cantidad de radiación solar, la disponibilidad de agua y alimentos minerales, o la temperatura. Por «productividad primaria bruta» se entiende la energía primaria total de un ecosistema incluyendo

sostener a todas las especies de la Tierra, el *homo sapiens* se queda con casi la mitad (Leakey & Lewin 1997: 157, Carpintero, 2005 citado en Fernández S/F).

Esta impresionante explosión demográfica y del consumo energético humano se produjo conforme se expandió una forma particular de sociedades humanas surgidas a finales del milenio pasado. Analizando su acelerado ritmo de crecimiento, su enorme consumo de recursos materiales y energéticos (inputs) así como de generación de desechos (outputs), Ramón Fernández Durán (S/F) presenta una pasmosa visión de lo que denomina el metabolismo del «sistema urbano-agro-industrial». Este sistema está compuesto por redes de ciudades y megaciudades, zonas industriales (productivas, extractivas, etc), zonas de producción agropecuaria altamente tecnificadas (agricultura industrial, granjas tecnificadas, pesquerías), interconectadas por redes de comunicaciones y transporte. Analizando el surgimiento y desarrollo del sistema urbano-agro-industrial, destaca el hecho de que:

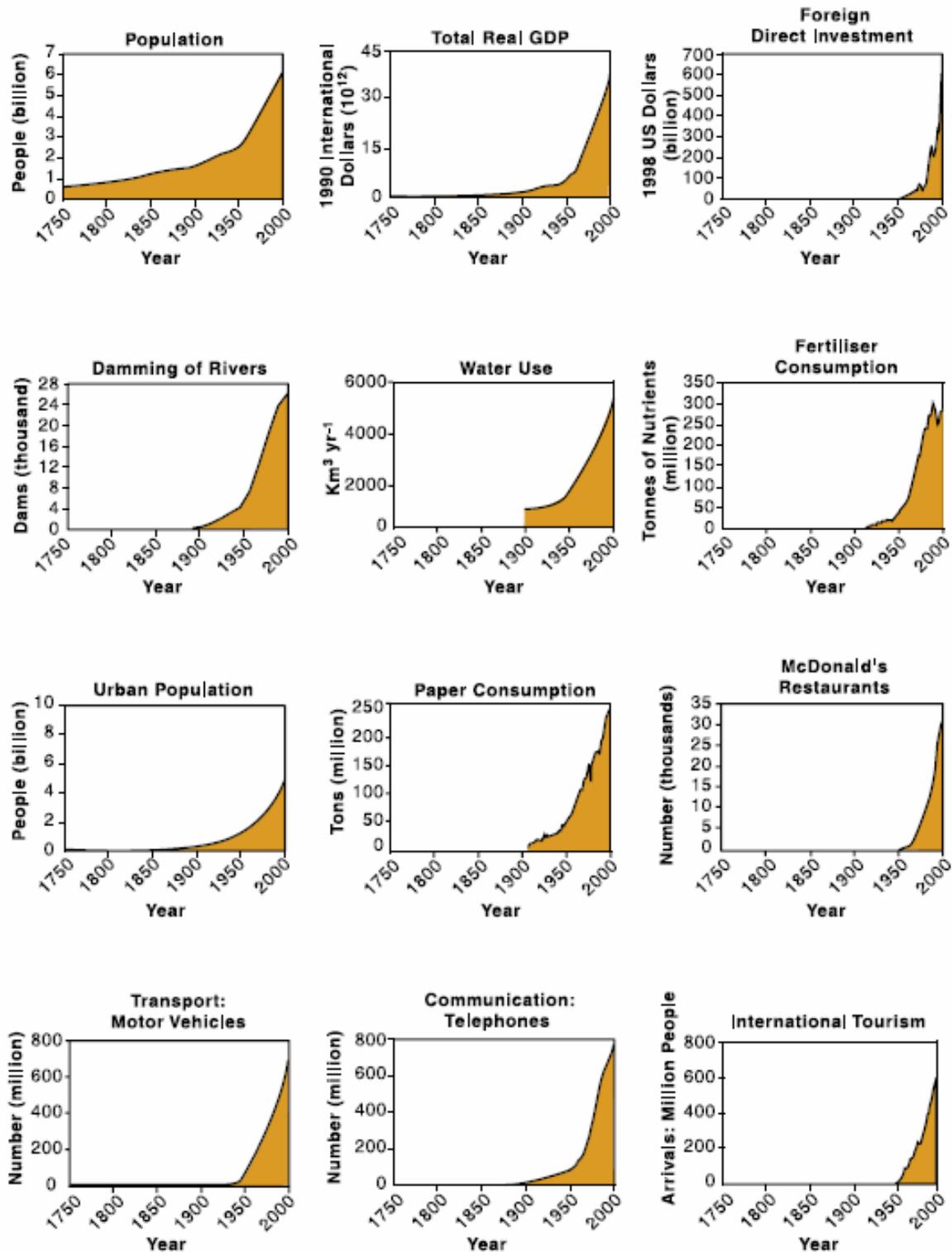
la producción industrial mundial se multiplicara por más de 50 a lo largo del siglo XX (...), que el grado de urbanización planetaria pasara del 15% de la población a principios de siglo a casi el 50% a finales del mismo, al tiempo que la población mundial se multiplicaba por 4 y el número de metrópolis millonarias por 40, que la agricultura industrializada se globalizara en muy gran medida, partiendo prácticamente de cero en 1900, y que el transporte motorizado se desbocara de forma tremenda a finales del siglo, partiendo también prácticamente de la nada y utilizando una construcción extraordinaria de medios e infraestructuras de transporte (Fernández S/F: 6)

En su informe de 2004 *Global Change and the Earth System: A planet under pressure*, el International Geosphere-Biosphere Programme [IGBP] presenta un desglose de diferentes parámetros interrelacionados que son de gran utilidad para dimensionar el crecimiento del metabolismo urbano-agro-industrial en el siglo

la respiración y la «productividad primaria neta»; esta última se define como la energía química disponible para los consumidores (organismos heterótrofos), la biomasa o energía disponibles después de sustraer las pérdidas por respiración.

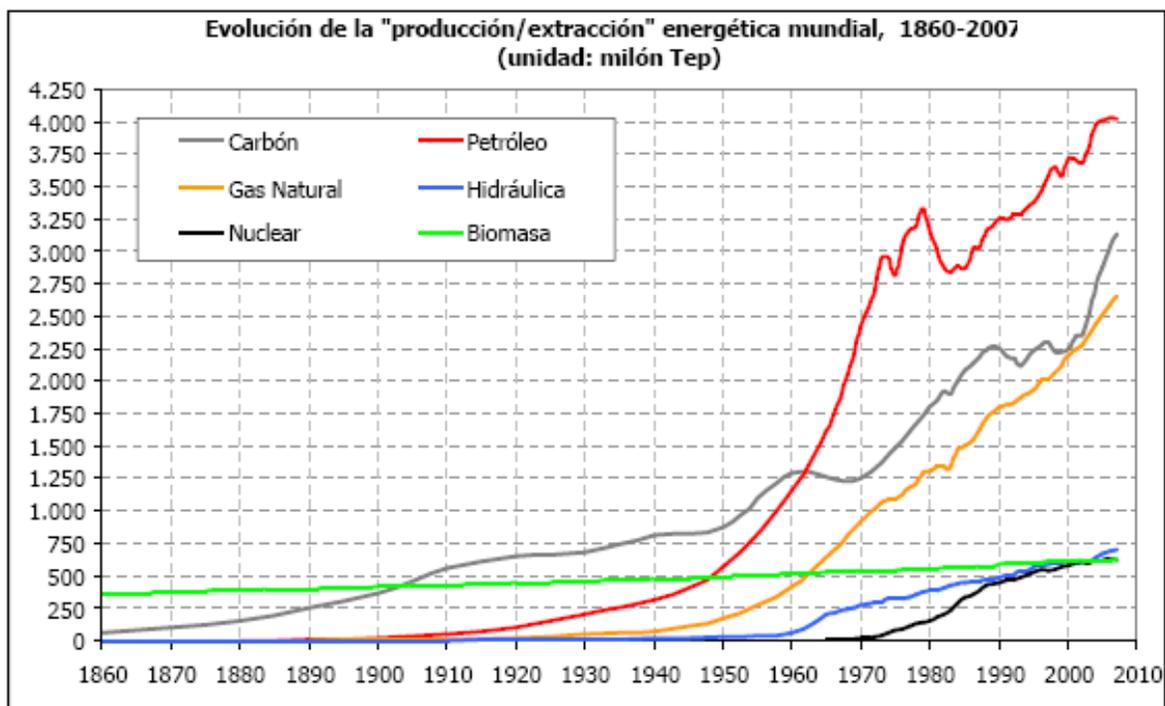
pasado, entre los que se cuentan el aumento general de población y el de población urbana, el incremento en el uso de agua, de fertilizantes, de papel, de transportes automotores, de la producción industrializada de alimentos, etc.; todos los cuales se disparan en la segunda mitad del siglo XX.

Al hablar de «metabolismo» en este contexto, estaríamos señalando el conjunto de flujos energéticos y materiales que permiten a un sistema seguir existiendo como tal. En el caso del sistema urbano-agro-industrial, este acelerado metabolismo fue posible gracias a “un flujo energético en constante ascenso, especialmente de carácter no renovable, que se multiplicó casi veinte veces a lo largo del siglo” (McNeill y McNeill, 2003). Luego de que en 1712 se inventara el primer motor de vapor en Inglaterra, el siglo XIX se convirtió en “el siglo del carbón”, siglo que también verá el nacimiento de la primer central eléctrica, al sur de Manhattan, alimentada por el mismo combustible. “Ningún otro combustible podía rivalizar con él en la cocina, la calefacción, la industria y el transporte”, hasta que se comenzó a utilizar el petróleo, el cuál rápidamente desplazaría al carbón en los campos del transporte y la calefacción doméstica, con lo que el siglo veinte se volvió “el siglo del petróleo” (Flannery 2007: 78-79).



Diferentes expresiones del cambio en la actividad humana desde el comienzo de la Revolución Industrial. IGBP (2004: 16).

Lo que hace extraordinarias a estas “sociedades-máquina” alimentadas por combustibles fósiles, es precisamente que han tenido acceso a una fuente energética adicional. Ahí donde otros grupos humanos dependen principalmente del ritmo de producción biológica local “en tiempo presente”, la utilización de combustibles fósiles permite explotar la energía acumulada por ecosistemas *del pasado*. De acuerdo con el investigador Jeffrey Dukes (citado en Flannery 2007: 81), todo el carbono y el hidrógeno de los combustibles fósiles se acumuló por la acción de la energía de la luz solar captada por las plantas hace ya mucho tiempo. Según sus cálculos, se requieren aproximadamente 100 toneladas de antigua vida vegetal para crear cuatro litros de petróleo. Esto significa que, por cada año que pasa de nuestra era industrial, los humanos necesitan el equivalente a varios siglos de antigua luz solar para mantener en marcha la economía. Para darse una idea de la magnitud de esto, basta saber que, de acuerdo con estos cálculos, en 1997 se habrían consumido unos 442 años de luz solar fósil. ¡Más de 400 años de energía solar acumulada, consumida en un solo año! (Flannery 2007: 81)



Evolución de la producción-extracción energética mundial entre 1860 y 2007.
Fuente: Iván Murray (2009), tomado de Fernández (S/F: 9)

En los ecosistemas agrícolas con subsidio de combustibles (agricultura industrial) grandes cantidades de insumos energéticos (para echar a andar todo tipo de maquinaria, sistemas de irrigación y abastecimiento, transporte, etc.) así como de fertilizantes y otros agroquímicos derivados del petróleo permiten elevar enormemente la producción por hectárea y con respecto a las horas de trabajo humano. Gracias a estos insumos adicionales, es posible rebasar la capacidad de sustentación “natural” (basada principalmente en la energía solar) de un determinado espacio (y por un determinado tiempo), permitiendo abastecer de alimentos a grandes poblaciones humanas. Así se hace posible el acelerado crecimiento de las poblaciones urbanas (poblaciones no-agrícolas), la multiplicación de las ciudades y las megalópolis, etc. Prácticamente todos los insumos que alimentan el metabolismo de una ciudad provienen del exterior (son producidos por otros ecosistemas). Se trata de ecosistemas incompletos o dependientes en cuanto a los procesos que garantizan su propio mantenimiento. Por un lado, no producen alimentos (requieren de muchas hectáreas de ecosistemas agrícolas para abastecerse), necesitan diversos tipos de insumos (agua y otros materiales como papel, madera, etc) y la energía que los impulsa viene del exterior (con frecuencia es transportada grandes distancias). Por otro lado, tampoco procesan, asimilan ni reciclan la gran cantidad de desechos que generan (no reabsorben el dióxido de carbono que generan, por ejemplo, por lo que dependen de que otros ecosistemas lo hagan; no procesan la materia orgánica desechada ni mucho menos las grandes cantidades de desechos tóxicos que producen, etc.).

Para ahondar al respecto, se han desarrollado diversos cálculos para medir el impacto ecológico de una cierta comunidad humana (una ciudad, región o país), entre los que destaca el de la llamada «huella ecológica⁶⁹», un indicador que muestra la relación entre la velocidad de consumo de recursos y generación de desechos de dicha comunidad y la velocidad con que los ecosistemas pueden

⁶⁹ Fue definida en la década de los 1990's por William Rees y Mathis Wackernagel en la School for Community & Regional Planning (Escuela para la Planificación Comunitaria y Regional) de la Universidad de la Columbia Británica. Véase la página de la Global Footprint Network: www.footprintnetwork.org

generar esos recursos y procesar esos desechos. Otra forma de plantear esta relación es en términos espaciales, en ese caso la huella ecológica de una ciudad expresaría la relación del consumo de recursos y la producción de desechos con respecto al área de terreno necesaria para producir dichos recursos y asimilar tales desechos. Si la huella ecológica de un sistema urbano-agro-industrial determinado es superior a la biocapacidad⁷⁰ de su territorio, estaríamos en un caso de «déficit ecológico».

Las ciudades se caracterizan por funcionar en un estado de muy alto déficit ecológico: consumen muchos más recursos de los que pueden generar, y generan muchos más desechos de los que pueden procesar (en un determinado lapso de tiempo). La alta densidad demográfica y los exorbitantes niveles de consumo energético de una ciudad serían imposibles si la población dependiera únicamente de la biocapacidad del ecosistema local, entonces, ¿cómo hacen las ciudades para seguir existiendo? Fernández lo expresa acertadamente al decir que lo hacen “importando sostenibilidad” (biocapacidad) de otros ecosistemas (S/F: 37), a la vez que “externalizan los costos” del procesamiento de los desechos, imponiendo cargas adicionales a los ecosistemas circundantes. A diferencia de lo que ocurre en muchos otros ecosistemas —en donde los “residuos” del metabolismo de ciertos organismos son “recursos” para otros—, la mayor parte de los residuos del sistema urbano-agro-industrial no sólo no son procesados dentro del mismo sistema, sino que resultan biológicamente improcesables y muchas veces altamente tóxicos, ocasionando enormes daños a los ecosistemas en los que son vertidos.

Así, podemos observar que el sistema urbano-agro-industrial tiene como fundamento una profunda desigualdad en cuanto al consumo energético y de recursos. Como señala Fernández (S/F: 7), el sistema urbano-agro-industrial se desarrolla imponiendo un ordenamiento geográfico en el que existen, por un lado, espacios centrales que operan como regiones “ganadoras” —hiperconsumidoras

⁷⁰ La capacidad biológica se refiere a la capacidad de un ecosistema de generar un abastecimiento regular de determinados recursos y/o de absorber determinados desechos.

de recursos e hipergeneradoras de residuos— y, por el otro, espacios periféricos que se convierten en regiones “perdedoras” —cuyos recursos son sobreexplotados y que son utilizadas como sumideros de desechos—. Esta dinámica de acelerado consumo de recursos tiene, por lo tanto, una naturaleza inherentemente expansionista

Vemos, pues, que además de que el consumo energético ha sido muy desigual en la historia de la humanidad, es también muy desigual en la actualidad. En nuestras altamente estratificadas sociedades, los principales consumidores de energía *per capita* son las élites y las clases medias de los espacios centrales, localizadas principalmente en los núcleos urbano-metropolitanos de los países ricos. La distinción entre los llamados países de “Primer Mundo” y “Tercer Mundo” expresa esta desigualdad a cierto nivel, aunque el consumo energético y de recursos no es homogéneo a al interior de cada país, ni siquiera al interior de una misma ciudad. Como ejemplo de desigualdad en el consumo energético, en el Gráfico 5 puede observarse la distribución de la iluminación urbana en el planeta. Puede observarse una alta concentración en regiones muy industrializadas y altamente pobladas como la Costa Este en Estados Unidos, Europa Occidental y Japón; un grado intermedio se observa en países “en desarrollo” densamente poblados como México, China, India y Brasil; mientras que las zonas menos iluminadas corresponden a las regiones más pobres y/o menos densamente pobladas.

Evidentemente, esta configuración territorial dividida entre espacios “ganadores” y “perdedores” es una expresión de la división internacional del trabajo, la especialización funcional de los territorios y la relación entre (sobre)explotación y acumulación de capital. Es, por lo tanto, una expresión de las relaciones de poder mundial —o más aún, constituye su sustento— por lo que su construcción no puede entenderse separada del desarrollo histórico de estas últimas. La expansión del sistema urbano-agro-industrial es un aspecto fundamental del proceso de expansión del capitalismo y se inserta dentro de la larga historia del colonialismo y el imperialismo, los cuales toman una forma cualitativamente distinta a partir de la Revolución Industrial: la dinámica de

“importación de biocapacidad” por los espacios centrales se ha intensificado hasta alcanzar niveles increíbles en el siglo XX, gracias al poder de las tecnologías impulsadas por los combustibles fósiles (incluido el transporte motorizado) (Fernández S/F: 38).



Iluminación urbana en el mundo. Fuente: World Resources Institute (2003), basado en: National Oceanic and Atmospheric Administration-National Geophysical Data Center (1998)

La situación que vivimos a inicios del siglo XXI es el resultado de un largo proceso de acaparamiento de los recursos. Por un lado, en efecto, la humanidad acapara hoy en día aproximadamente la mitad de la productividad primaria neta a nivel global (lo que implica una enorme merma para el resto de las especies), pero al mismo tiempo iniciamos el siglo con los mayores índices de desigualdad socioeconómica de la historia. De acuerdo a un estudio publicado en 2006 por el Instituto Mundial para la Investigación de Desarrollo Económico de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU-WIDER, por sus siglas en inglés), entre la población adulta mundial, el 1% más rico posee el 40% de los activos globales (el 10% más rico controla el 85%), mientras que el 50% más pobre sólo es dueño del 1% de la

riqueza global⁷¹. Considerando lo anterior, queda claro que decir que “los seres humanos acaparan la mitad de la biomasa global” y que además “en un sólo año, consumen la energía acumulada en más de 400 años por los ecosistemas del pasado” son afirmaciones imprecisas. Asimismo, las actividades humanas se apropian de más de un 50% del agua dulce líquida del mundo, pero el consumo mundial es enormemente desigual: está muy relacionado con los niveles de renta⁷² y hay más de 1000 millones de personas que no tienen acceso directo a este recurso básico para la vida (Fernández S/F: 17).

Si bien el crecimiento demográfico es más intenso en muchos países “en desarrollo” y del “Tercer Mundo”, la explosión demográfica humana plantea problemas para la biósfera en la medida en que consumimos recursos y generamos residuos (es decir, en función de la huella ecológica de las poblaciones). De acuerdo con Jared Diamond (2006: 402) “lo que verdaderamente importa no es el número de personas sino su impacto sobre el ambiente”:

Ese impacto *per capita* —los recursos consumidos y los residuos producidos por persona— varía mucho en todo el mundo, donde el más alto se da en el Primer Mundo y el más bajo, en el Tercer Mundo. En promedio, cada ciudadano de Estados Unidos, Europa occidental y Japón consume 32 veces más recursos (como, por ejemplo, combustibles fósiles) y produce 32 veces más residuos que los habitantes del Tercer Mundo. (Diamond 2006: 402)

Con el desproporcionado aumento demográfico y de consumo energético observado en las últimas décadas, si en los siglos XIX y XX se pensaba que la

⁷¹ Véase el comunicado de prensa en: http://www.wider.unu.edu/events/past-events/2006-events/en_GB/05-12-2006/files/78079221070299518/default/wider-wdhw-press-release-5-12-2006-SP.pdf y el estudio completo en: <http://www.wider.unu.edu/>

⁷² Como ejemplo, Fernández Durán menciona el caso de los complejos turísticos en países periféricos, donde grandes empresas como *Club Mediterranee* en Marruecos, garantizan consumos de 1,400 litros por turista mientras que la población local a duras penas accede a 15 litros por persona. (Fernández Durán S/F: 18)

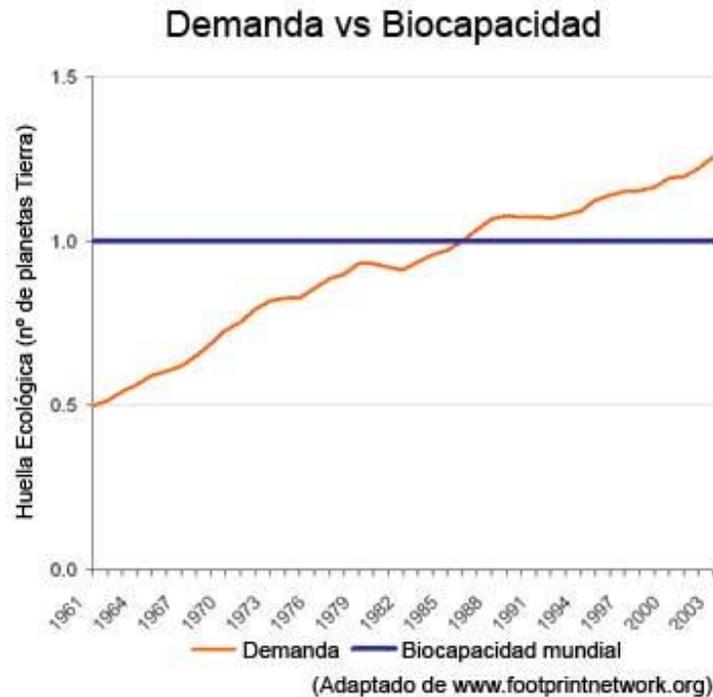
biósfera era un espacio inagotable, iniciamos el siglo XXI con la constatación de que esto es una falsedad. De acuerdo con Tim Flannery:

En 1961 sólo éramos 3,000 millones de personas, y utilizábamos tan sólo la mitad de los recursos totales que nuestro ecosistema global podía ofrecer de manera sostenible. Llegado el año 1986, nuestra población superaba los 5,000 millones y ya estábamos utilizando *toda* la producción sostenible de la Tierra. (Flannery 2007: 82)

3.3.5. Crisis ecosocial global

Si alguna vez pareció imposible, actualmente existe gran acuerdo al considerar que, calculando la huella ecológica de la humanidad en conjunto, hoy en día hemos rebasado la biocapacidad global —consumimos más recursos al año de los que el planeta entero puede generar, y generamos más desechos de los que éste puede procesar—, por lo que nos encontramos, por primera vez, en una situación de déficit ecológico *planetario*⁷³. Más concretamente, podemos decir que “en las dos o tres últimas décadas el sistema urbano-agro-industrial ha actuado por encima de la capacidad de regeneración del planeta Tierra, gracias al incremento de la capacidad de carga y a la intensificación de los procesos productivos que posibilitan los combustibles fósiles” (Fernández S/F: 5)

⁷³ La Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica de la ONU, por ejemplo, reconoció que “La huella ecológica de la humanidad supera la capacidad biológica de la Tierra” en el informe *La Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3* (2010: 9).



La huella ecológica de la humanidad rebasó la biocapacidad de la Tierra en algún punto de la década de los 1980's. Con datos de la *Footprint Network*.

¿Qué significa esto? Si para el año 2000 la huella ecológica de la humanidad tenía un valor de aproximadamente 1.2, esto significa que se había rebasado por un quinto (20%) la biocapacidad de todos los ecosistemas terrestres en conjunto (en la actualidad estamos más allá del 1.3). Esto puede entenderse de dos maneras: en términos temporales, significaría que estábamos consumiendo en un año aquello que la Tierra puede generar en 1.2 años; en términos espaciales, significaría que ya estábamos consumiendo el equivalente a lo que producirían 1.2 planetas Tierra por año. El rebasamiento de la biocapacidad global evidentemente implica un efecto de degradación ambiental generalizada con efectos acumulativos⁷⁴. Este hecho constituye un hito sin precedentes en la historia de la Humanidad.

⁷⁴ Otra forma de ver la desigualdad en este punto es calculando la huella ecológica de la humanidad si el "ciudadano promedio mundial" consumiera lo mismo que se consume en los países más industrializados (sin olvidar que dentro de ellos

A lo largo de dicha historia, innumerables grupos humanos han enfrentado diferentes formas de agotamiento *local* de los recursos en los que se basaba su subsistencia. En ocasiones, civilizaciones enteras parecen haber colapsado por este motivo, quedando abandonadas sus majestuosas construcciones. Según Jared Diamond:

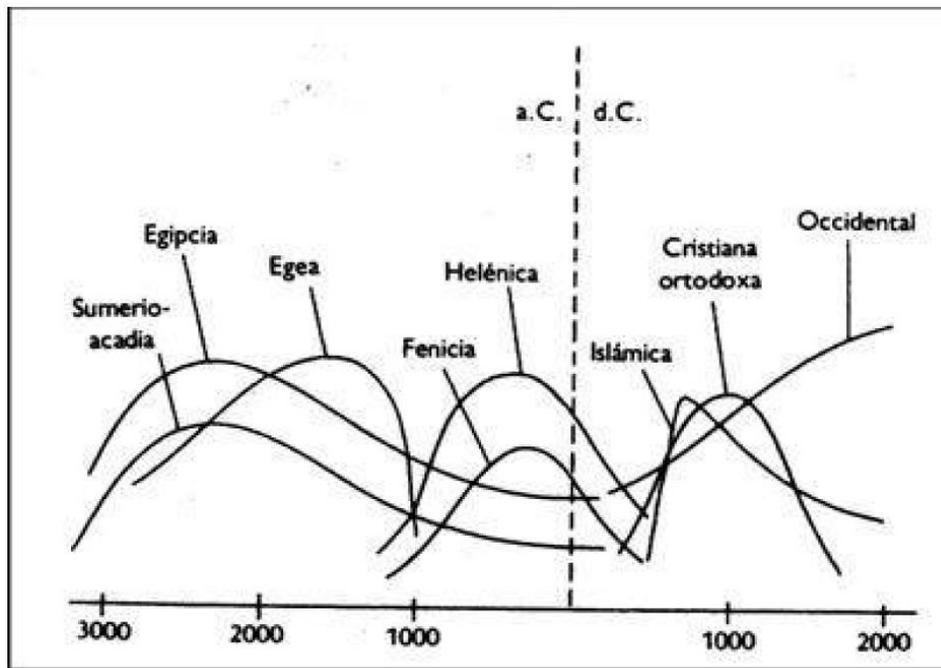
Durante mucho tiempo se ha sospechado que un gran número de estos misteriosos abandonos estuvieron al menos en parte provocados por problemas ecológicos: la gente destruyó inadvertidamente los recursos naturales de los que dependían sus sociedades. Esta sospecha [...] se ha visto confirmada por los descubrimientos que en décadas recientes han realizado arqueólogos, climatólogos, historiadores, paleontólogos y palinólogos (científicos que estudian el polen). (Diamond 2006: 14)

En la introducción a su libro *Colapso*, Diamond presenta una clasificación de los factores que parecen haber influido en los referidos declives civilizatorios:

Los procesos a través de los cuales las sociedades del pasado se han debilitado a sí mismas porque han deteriorado su medio ambiente se clasifican en ocho categorías, cuya importancia relativa difiere de un caso a otro: deforestación y destrucción del hábitat, problemas del suelo (erosión, salinización y pérdida de la fertilidad del suelo), problemas de gestión del agua, abuso de la caza, pesca excesiva, consecuencias de la introducción de nuevas especies sobre las especies autóctonas, crecimiento de la población humana y aumento del impacto *per capita* de las personas. (Diamond 2006: 14)

también hay mucha desigualdad). Si todos consumiéramos lo mismo que un habitante promedio de la Unión Europea o Japón, necesitaríamos tener algo así como 2.5 planetas para que fuera “sustentable”. Asimismo, si el promedio mundial de la huella ecológica *per capita* fuera el mismo que en Estados Unidos, estaríamos consumiendo el equivalente a 6 planetas... algo, por supuesto, imposible. (Murray et al, 2005; González, 2008; citados en Fernández Durán S/F: 38)

Diamond define «colapso» como “el drástico descenso del tamaño de la población humana y/o la complejidad política, económica y social a lo largo de un territorio considerable y durante un periodo de tiempo prolongado”, aclarando que dicho proceso es una forma extrema entre las diversas formas de declive que pueden producirse: “diferentes sociedades se desmoronaron en diferentes grados y de formas en cierto modo distintas, mientras que muchas sociedades no desaparecieron en absoluto” (2006: 13-14). Retomando los estudios de Arnold Toynbee, Fritjof Capra plantea que, si bien estamos lejos de contar con una teoría completa sobre la dinámica cultural, pareciera que muchas civilizaciones atraviesan procesos cíclicos semejantes que pueden describirse como génesis, crecimiento, crisis y desintegración. Para dar un ejemplo de ello, Capra presenta la siguiente gráfica donde se representan los patrones de auge y declive de las principales civilizaciones alrededor del Mediterráneo:



Patrones de auge y declive de las principales civilizaciones del Mediterráneo en los últimos 5 milenios. (Capra 1982: 8)

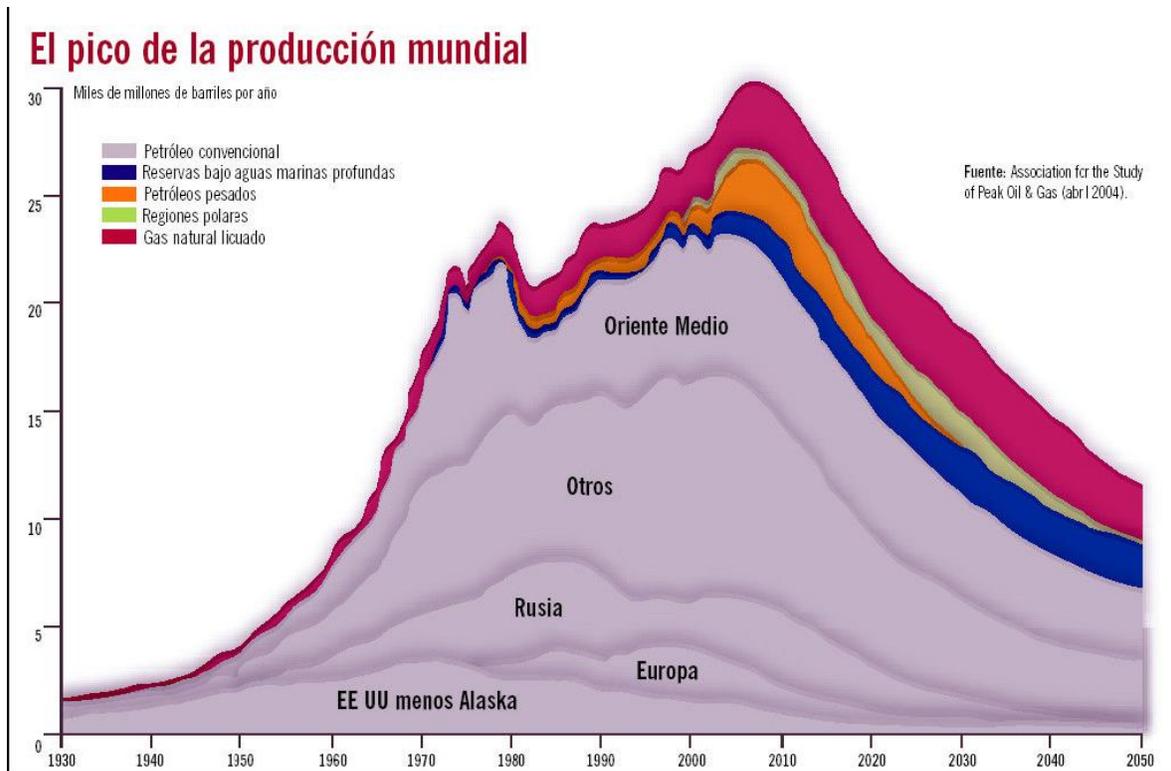
¿Nos encontramos hoy en día ante un inminente colapso civilizatorio? En caso de que así sea, se trataría de un declive cualitativamente distinto a los que se han producido con anterioridad, puesto que, como hemos visto, nos encontramos por

primera vez en una situación de déficit ecológico *global*: no se trata solamente del rebasamiento de la biocapacidad de un territorio o región delimitados, sino del de la biocapacidad del planeta entero.

En primer lugar, considerando que el enorme incremento demográfico registrado a finales del milenio pasado se produjo como parte de la acelerada expansión del sistema urbano-agro-industrial, cuyo intenso metabolismo ha sido posible gracias a la presencia de una fuente de energía barata y abundante —los combustibles fósiles—, resulta fundamental tener en cuenta que “la era de la energía barata se ha terminado”, tal y como lo afirmó el director de la Agencia Internacional de Energía, Nabuo Tanaka, en Abril de 2011⁷⁵. Si bien existe cierto debate en torno a la fecha exacta de su ocurrencia, la mayor parte de los científicos están de acuerdo en que *ya hemos rebasado* el «pico petrolero»: el momento en el que se alcanza la tasa máxima de extracción de petróleo global y tras el cual la tasa de producción entra en un declive terminal. Esto significa que, a partir de ese momento (que normalmente se produce cuando se ha extraído aproximadamente la mitad del volumen total de una reserva), el petróleo y sus derivados serán cada vez más caros, hasta el momento en que se haya extraído todo el petróleo que es posible extraer⁷⁶. Sobre este punto, Fernández presenta la siguiente gráfica, realizada con información de la Asociación para el Estudio del Pico del petróleo y Gas (ASPO, por sus siglas en inglés):

⁷⁵ Durante el *Bridge Forum Dialogue* en Luxemburgo, el 13 de Abril de 2011. Véase la nota en la página de la ASPO en: <http://www.peakoil.net/headline-news/iea-the-age-of-cheap-energy-is-over>

⁷⁶ Este punto no implica necesariamente el agotamiento total de los yacimientos existentes. Conforme se han agotado las reservas de más fácil acceso, cada vez es más costoso extraer el petróleo existente, es decir, cada vez se necesita invertir más energía para su extracción. En el momento en que se necesite invertir un barril de petróleo para extraer un barril de petróleo, la empresa se vuelve inútil y la extracción llega a su fin.

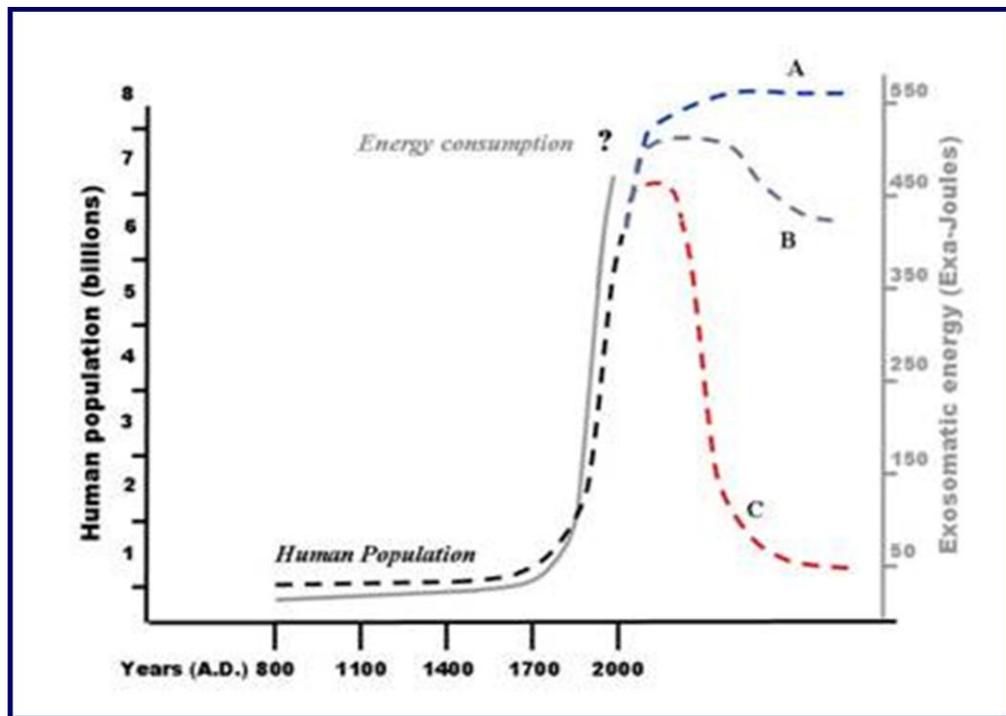


El pico de la producción mundial de petróleo y gas. (tomado de Fernández S/F, Fuente: ASPO (Association for the Study of Peak Oil))

Sin los insumos de energía adicional barata y abundante requeridos para satisfacer el acelerado metabolismo del sistema urbano-agro-industrial mundial, la tendencia de rápido crecimiento y expansión observada en las últimas décadas no podrá seguir adelante.

Existen diferentes posturas cuando se trata de hacer previsiones sobre lo que ocurrirá a partir de ahora (véase el Gráfico 10). En uno de los escenarios más optimistas, el sistema urbano-agro-industrial mundial encontrará rápidamente una fuente de energía adicional alternativa a los combustibles fósiles, y la población humana podría estabilizarse en un nivel de consumo energético similar al que tenemos actualmente (línea A). Una segunda posibilidad contempla una transición energética menos tersa, que incluiría una importante reducción en términos demográficos y de consumo energético (línea B). En el tercer escenario, sin el suministro energético de los combustibles fósiles, la población humana experimentaría una drástica reducción demográfica y del consumo energético,

viéndose obligada a regresar a un punto cercano a los niveles anteriores a la explosión de finales del milenio pasado (línea C).



Demografía humana y consumo energético en distintos escenarios posibles para el nuevo milenio.

Hasta ahora, los escenarios más optimistas en cuanto a la “transición energética” parecen confiar demasiado en fuentes energéticas sobre las que existe una bien fundada desconfianza, especialmente en el caso del «poder nuclear», término con el que Capra se refiere al conjunto de reactores nucleares y armas nucleares. Como se sabe, el plutonio que sale de los reactores nucleares es el que se utiliza para la fabricación de bombas, por lo que ambos usos (energético y militar) han estado íntimamente ligados. La capacidad de destrucción global por razón de una guerra nuclear es la principal amenaza ecológica del poder nuclear, pero aún descontando esta posibilidad, el impacto ecológico del mismo rebasa por mucho los riesgos de cualquier otra tecnología humana (Capra 1982: 258ss). En cada etapa del proceso de obtención de energía nuclear (desde las minas hasta los depósitos de desechos nucleares) se produce contaminación radioactiva que afecta tanto a los trabajadores como al medio ambiente. De acuerdo con el mismo

autor, no existe un “nivel seguro” de radiación, incluso las cantidades más pequeñas pueden producir mutaciones y enfermedades. En toda empresa humana se producen accidentes y la tecnología nuclear no es la excepción, lo que sí es extraordinario es la desastrosa magnitud de las consecuencias de los accidentes nucleares, cuyas consecuencias son letales para todos los seres vivos a la redonda, convirtiendo grandes áreas en zonas inhabitables por miles de años. Pero incluso en el caso de que no haya accidentes, el problema de los desechos nucleares es enorme: el plutonio —por mucho el más mortal⁷⁷ de todos los desechos nucleares— continúa siendo venenoso por, al menos, 500 mil años⁷⁸, ¡lo cual es más de 100 veces la duración de toda la historia escrita de la humanidad! (ver Gráfico 11).

el plutonio no desaparece simplemente con la muerte de un organismo contaminado. Un animal muerto por contaminación radiactiva, por ejemplo, puede ser comido por otro animal, o puede pudrirse y desintegrarse y sus restos ser esparcidos por el viento. En cualquier caso, el plutonio permanecerá en el ambiente con el mismo poder letal, pasando de un organismo a otro, durante medio millón de años. (Capra 1982: 263; traducción mía).

Ninguna tecnología humana puede producir contenedores seguros para tan enorme lapso de tiempo. Considerando todo esto, Capra concluye que el uso del poder nuclear es verdaderamente demencial y se pregunta “¿qué derecho tenemos para dejar tan mortífero legado que afectará a miles y miles de

⁷⁷ En cantidades inferiores a una millonésima de gramo —una dosis invisible— es carcinógeno. Menos de medio kilo, distribuido uniformemente, tendría el potencial de inducir cáncer de pulmón a todas las personas en el planeta. Considerando lo anterior, es realmente aterrador saber que cada reactor comercial produce anualmente entre 180 y 230 kilos de plutonio (Capra 1982: 262; traducción mía).

⁷⁸ El periodo de semidesintegración del plutonio (Pu-239) —el tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de una cantidad dada— es de 24,400 años. Esto significa que si un gramo de plutonio es liberado en el medio ambiente, aproximadamente un millonésimo de gramo seguirá activo después de 500 mil años, una cantidad que aunque diminuta seguirá siendo altamente tóxica. (Capra 1982: 261n; traducción mía)

generaciones por venir?”. Consideraciones semejantes son las que condujeron a Ulrich Beck a caracterizar la sociedad contemporánea como la “sociedad del riesgo” (1994).

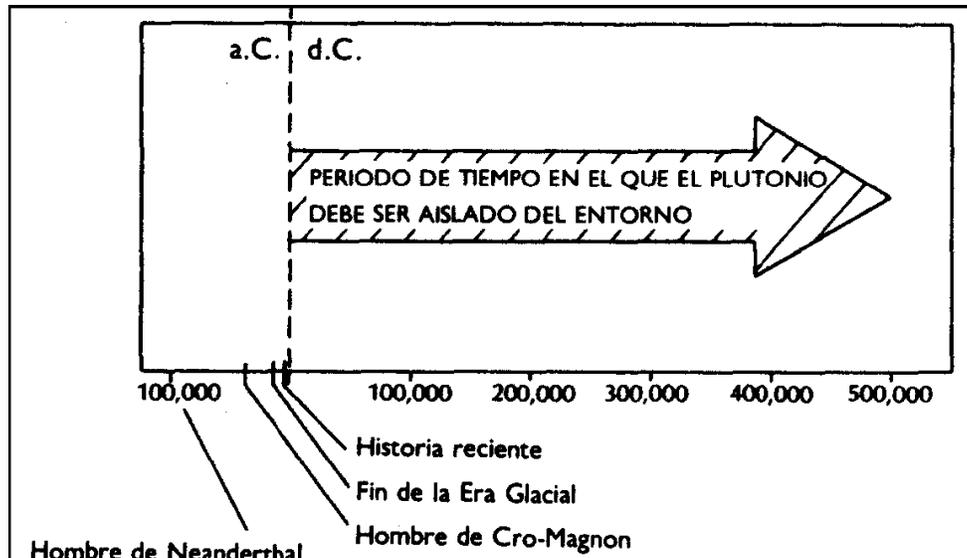


Gráfico 11. Periodo de tiempo que el Plutonio debe ser aislado del entorno.
(Capra 1987: 263)

No es posible abordar aquí en extenso la discusión en torno a otras energías alternativas pero, por ejemplo, con respecto a los biocombustibles, Flannery señala que:

Si los seres humanos tuviéramos que buscar un sustituto [para los combustibles fósiles] en la biomasa —que abarca todos los seres vivos, pero en este caso sobre todo las plantas—, consumiríamos un 50 por ciento más de lo que producimos actualmente en la Tierra. (Flannery 2007: 82)

De por sí ya hemos rebasado la biocapacidad global, por lo que la de los biocombustibles parece una alternativa inviable si es que el objetivo fuera mantener nuestros actuales niveles de consumo energético. Otras formas de energía (especialmente la energía solar, pero también la eólica, geotérmica, mareomotriz, etc) son alternativas en las que las esperanzas están mejor

fundadas⁷⁹, aunque —de nuevo— no lograrían mantener los actuales niveles de consumo energético.

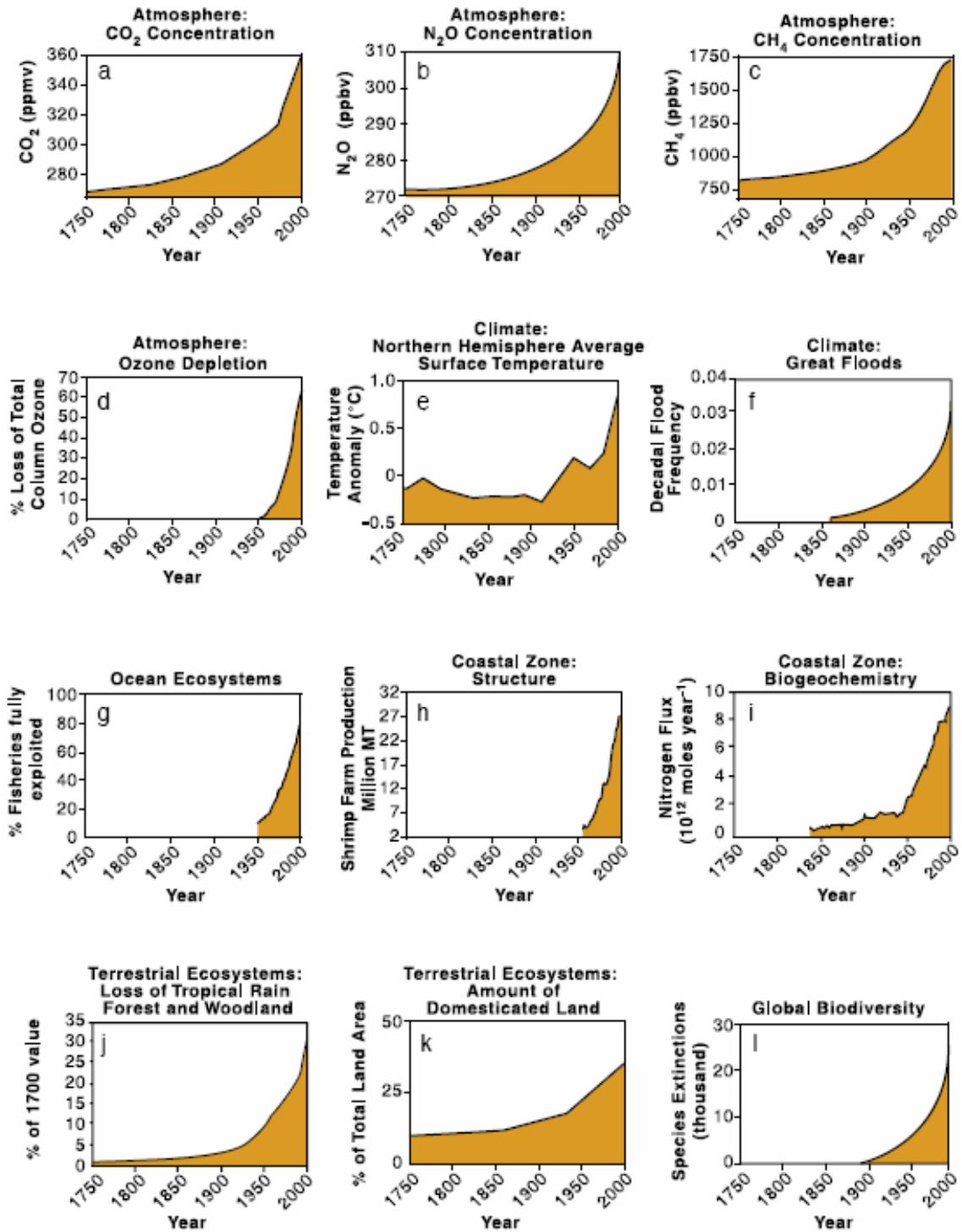
La cuestión importante aquí es: ¿realmente debemos buscar mantener —a toda costa— nuestros actuales niveles demográficos y de consumo energético? A partir del análisis desarrollado en este capítulo, dicho objetivo parece ser en sí mismo un proyecto suicida. Como hemos visto, el metabolismo del sistema urbano-agro-industrial no sólo consume recursos energéticos (hasta ahora principalmente combustibles fósiles), sino que también demanda enormes cantidades de otros insumos (agua, biomasa, minerales, etc) y genera una enorme cantidad de desechos y contaminantes, cuya huella ecológica total rebasa la biocapacidad planetaria en múltiples maneras. Resumiendo las conclusiones de su estudio sobre el impacto humano en el “sistema Tierra”, el *International Geosphere-Biosphere Programme* (2004: 14; traducción mía) señala que:

- En los últimos 150 años la humanidad ha agotado el 40% de las reservas conocidas de petróleo, las cuales tardaron varios cientos de millones de años en generarse.
- Cerca del 50% de la superficie de tierra ha sido transformada por acción humana directa, con importantes consecuencias para la biodiversidad, el ciclo de nutrientes, la estructura de los suelos, la biología de los suelos y el clima.
- La fijación de nitrógeno producida sintéticamente mediante fertilizantes y a través de la quema de combustibles fósiles supera la fijación natural de todos los ecosistemas terrestres.
- Más de la mitad de toda el agua dulce disponible es acaparada para uso humano, y los yacimientos hídricos subterráneos están siendo rápidamente agotados en muchas áreas.
- La concentración atmosférica de diversos GEI's de impacto significativo, además del CO₂ y CH₄, se ha incrementado notablemente.

⁷⁹ No obstante, hay que dejar claro que el éxito de dichas alternativas no es una cuestión meramente técnica, depende de la forma en que las sociedades las utilicen.

- Los hábitats costeros y marinos están siendo severamente perturbados; 50% de los manglares han sido eliminados y los pantanos se han reducido a la mitad.
- Aproximadamente el 22% de las pesquerías marinas conocidas han sido sobreexplotadas o ya están definitivamente agotadas, y 44% más están al borde del límite de explotación.
- Las tasas de extinciones se incrementan agudamente en ecosistemas marinos y terrestres alrededor del planeta; la Tierra esta ya a la mitad del primer episodio de extinción masiva ocasionado por las actividades de una única especie biológica (la humanidad).

Considerando indicadores como los que se presentan en las siguientes gráficas, el IGBP señala que la actividad humana en las últimas décadas ha dado lugar a una serie de profundos cambios a escala planetaria, a los que en conjunto se refieren como «cambio global». “Sin lugar a dudas, en los últimos 50 años se produjeron las más aceleradas transformaciones en la relación de la humanidad con el mundo natural de toda la historia” (IGBP, 2004: 18; traducción mía). “El siglo XX, por tanto, es un fragmento diminuto, pero la escala de las transformaciones que ha presenciado empequeñece toda la historia humana anterior” (Christian, 2005; citado en Fernández S/F: 5).



Cambios en el sistema-Tierra a escala global ocurridos como resultado del dramático aumento de la actividad humana. IGBP (2004: 17)

Como se sabe, la quema de combustibles fósiles —reacción química esencial para el metabolismo urbano-agro-industrial— produce CO₂, uno de los famosos gases de efecto invernadero [GEI's]: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Oxido Nitroso (NO₂), Ozono (O₃) y otros, los cuales impiden que el calor recibido del sol vuelva al espacio. De acuerdo con Fernández (S/F: 24-25): El más importante en cuanto a su contribución al Cambio Climático es el CO₂ (en torno al 60%), cuya concentración en la atmósfera pasó de 280ppm antes de la Revolución Industrial a 360 en 2000, y más de 380 en la actualidad. Como explica Flannery (2007: 74), los combustibles fósiles —petróleo, carbón y gas— son todos restos de organismos que, hace muchos millones de años, extraían carbono de la atmósfera: cuando quemamos madera, liberamos carbono que lleva décadas fuera de la circulación atmosférica, pero cuando quemamos combustibles fósiles, liberamos carbono que lleva millones de años fuera de circulación.

La participación del Metano y de los Clorofluorocarbonos (CFC's) es más o menos similar, sumando entre ambos un tercio del efecto invernadero total. El incremento del Metano proviene fundamentalmente del fuerte aumento del ganado a nivel mundial a lo largo del siglo XX, aunque también contribuye al mismo la expansión de los arrozales y la explosión de vertederos, además del mencionado uso de combustibles fósiles. La emisión de los CFC's se ha concentrado en las últimas décadas del pasado siglo, si bien su efecto potencial como gas de invernadero es el más nocivo de todos. Por último, el NO₂ es responsable de menos del 10% del efecto total de los GEI's a escala mundial, y su emisión corresponde especialmente a la utilización de abonos químicos en la agricultura industrializada. (IPCC, 1990 y 2007; citado en Fernández S/F: 24-25)

Si bien hay una tasa natural de GEI's que permite el equilibrio del clima y el desarrollo de la vida, su creciente concentración en la atmósfera es la causa del cambio climático de la actualidad. Además, la fuerte desaparición de bosques desde mediados del siglo XX hace que se reduzca de forma muy sensible uno de los principales sumideros de carbono, y la expansión de la agricultura industrializada contribuye en el mismo sentido, aparte de que es uno de los principales sectores emisores de CO₂. El otro gran sumidero de carbono que son

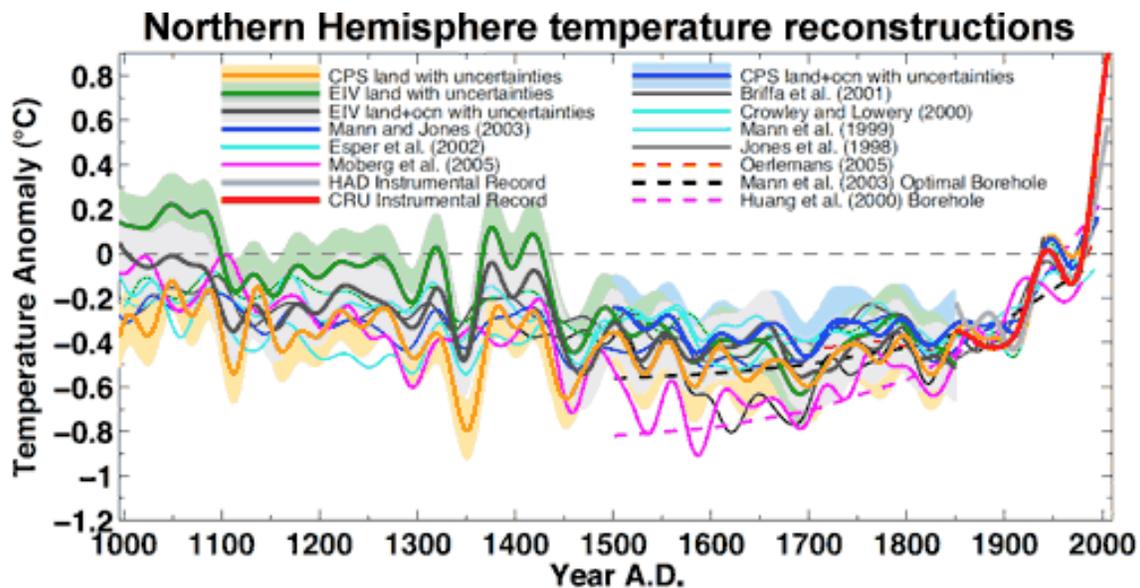
los mares y océanos está saturándose cada vez más en esta función, debido también a la elevación de temperatura de los mismos. (Fernández S/F: 24-25)

El famoso cambio climático —ocasionado por la acumulación de gases producidos por el metabolismo urbano-agro-industrial— es sólo uno de los múltiples factores que constituyen este cambio global multidimensional. Muchos científicos consideran que nos encontramos en un peligroso límite en el que se pueden desencadenar poderosos mecanismos de retroalimentación positiva que nos catapultarían a un escenario de cambios aún más bruscos y descontrolados, con los cuales el planeta Tierra se volvería un lugar realmente difícil de habitar, con muchas regiones inhabitables (Véase gráfico 13).

Se sabe que las grandes trasnacionales de la industria del petróleo han financiado a grupos pseudocientíficos para argumentar que el cambio climático es inexistente o que no tiene conexión con las emisiones de CO₂ ocasionadas por el uso de combustibles fósiles⁸⁰. Además, alrededor del planeta las grandes empresas, los gobiernos nacionales y las entidades supranacionales nos aturden cotidianamente a través los medios de comunicación masiva con mensajes en los que aparentan estar tomando las medidas necesarias y tener la situación bajo control. Estos esfuerzos *negacionistas* en torno al cambio climático (véase Washington & Cook 2011) han tenido éxito al impactar sobre la opinión pública global, generando un espacio de incertidumbre, promoviendo la desmovilización de la gente y tratando de evitar procesos de cambio que atentarían contra sus intereses, sacando provecho del conocido mecanismo de defensa psicológica: ante situaciones desagradables o amenazas fuera de nuestro control, la *negación* más o menos consciente del problema nos permite hacer a un lado las emociones disruptivas, seguir funcionando y cumplir con las exigencias de la cotidianeidad.

⁸⁰ Hay mucha información al respecto. Por ejemplo: en enero de 2007, la *Union of Concerned Scientists* publicó un informe titulado “*Smoke, mirrors & hot air: how Exxon Mobil uses big tobacco’s tactics to manufacture uncertainty on climate science*” en el que acusa a una de las principales empresas petroleras (la Exxon Mobil) de haber financiado la difusión de dudas sobre la existencia de cambio climático *antropogénico*, del mismo modo en que ciertas empresas tabacaleras han hecho durante años con respecto a la relación entre fumar y enfermarse de cáncer.

Sin embargo, comunidades enteras de científicos alrededor del planeta no tienen dudas al respecto: el clima siempre ha cambiado, es cierto, pero el ritmo al que lo hace en estos momentos es claramente anormal. Como señala Tim Flannery, durante los últimos 10,000 años, el termostato de la superficie terrestre ha estado estacionado a una temperatura media de aproximadamente 14°C, situación que ha sido muy favorable para la proliferación humana en el planeta. (2007: 20-21). En el último siglo, esta situación ha cambiado de manera evidente.



Reconstrucción de la composición de temperaturas de la tierra y la tierra más océano para el Hemisferio Norte y los intervalos de confianza evaluados al 95%. Se muestra la comparación entre las diferentes reconstrucciones del Hemisferio Norte publicadas (Mann 2008).

En esta gráfica, Michael E. Mann y su equipo presentan los resultados coincidentes de las principales reconstrucciones climáticas disponibles para el hemisferio norte, tomando como base diferentes tipos de evidencias y con variedad de métodos de análisis estadístico. Los resultados confirman lo que ya desde 1998 se había adelantado con la famosa gráfica del "palo de hockey": el siglo XX (especialmente sus dos últimos tercios) es un periodo anómalo (Mann 2008). Como expuse, el clima y diversas condiciones ambientales que normalmente damos por sentado, como si así hubieran existido desde el inicio de los tiempos, en realidad fueron activamente construidas (y son sostenidas

permanentemente) por la *red de la Vida* —como llama Fritjof Capra (1996) al conjunto de organismos vivos sobre la biósfera, en interacción compleja unos con otros y con el medio físico—En diversos momentos y de diferentes maneras, la red de la Vida ha generado momentos de relativa estabilidad climática a través de complejos mecanismos de autorregulación que involucran a todos los ecosistemas del planeta. Ese tipo de estabilidad es lo que ha caracterizado al periodo de los últimos diez mil años, situación que actualmente está cambiando.

Conforme la temperatura se eleva, nos acercamos a ciertos puntos de inflexión que, en palabras de Flannery, funcionan como “puertas mágicas” en el tiempo. Aunque se desconoce el momento exacto en el que serán atravesados, existen pruebas geológicas de que tales procesos se han producido en el pasado, a lo largo de la historia del planeta, originando algunas de las más grandes extinciones de la biodiversidad sobre la Tierra. En concreto, según el recuento del mismo autor (2007: XVI), los más avanzados modelos computacionales para la predicción del clima en el siglo XXI incluyen tres escenarios de transformaciones a gran escala:

1. *La interrupción de la Corriente del Golfo*. En 2003, el Pentágono encargó un informe sobre las implicaciones que tendría para la seguridad de E.U. la interrupción de dicha corriente, parte fundamental de los mecanismos de regulación climática planetaria. Dicho informe señala que como resultado del incremento de agua dulce procedente del derretimiento del hielo acumulado en el norte del Atlántico, la Corriente del Golfo se ralentizará hasta que en determinado punto desencadenará alteraciones extremas en el clima del mundo. Se predice una sequía persistente en regiones agrícolas fundamentales, las reservas de agua y energía serán cada vez más exiguas. “El informe predice también que las naciones no cooperarán entre sí ante el desastre: la hambruna masiva se seguirá de migraciones multitudinarias [...] Se forjarán nuevas alianzas políticas en la lucha por apropiarse de los recursos. El riesgo de guerra aumentará enormemente [...] Estados Unidos se concentrará aún más en proteger sus fronteras para impedir la entrada de hordas de inmigrantes”, y la Unión Europea deberá

elegir entre hacer lo mismo o “verse impelida a la decadencia y al caos debido a las luchas internas” (Flannery 2007:184). ¿Cuándo es posible que ocurra dicho fenómeno? Algunos climatólogos consideran que ya se ven señales de un preludio de dicha interrupción. El informe del pentágono considera el periodo entre 2010 y 2020, pero otros científicos no están de acuerdo.

2. *La muerte de las pluviselvas del Amazonas.* El simulador TRIFFID (*Top-down Representation of Interactive Foliage and Flora Including Dynamics*) del centro Hadley indica que, “en torno a 2100, los niveles de CO₂ habrán aumentado hasta el punto de que la lluvia amazónica se reducirá de forma drástica [...] Estas condiciones, combinadas con un aumento de temperatura de 5.5°C contribuirán a la destrucción inevitable de la pluviselva amazónica. Un pequeño cambio de temperatura es capaz de transformar suelos que antes absorbían carbono en fuentes productoras de carbono a gran escala. A medida que los suelos se calientan se acelera [el proceso de descomposición de la materia orgánica] y con ello se liberará gran cantidad de CO₂. Es el clásico ejemplo de circuito de retroalimentación positiva, en el que el incremento de las temperaturas conduce directamente a un considerable aumento de CO₂ en la atmósfera, que contribuye, a su vez, a elevar las temperaturas” (Flannery 2007:188) De este modo, el cambio climático en el Amazonas contribuiría a acelerar todavía más un descontrolado cambio climático global. De acuerdo con este modelo, comenzaríamos a ver signos de este proceso alrededor de 2040.
3. *Liberación masiva de metano desde el fondo marino.* Otro peligroso circuito de retroalimentación positiva que puede ponerse en marcha en este siglo tiene que ver con los clatratos, un tipo de hielo que encierra una gran cantidad de gas comprimido, particularmente metano. Grandes volúmenes de clatratos yacen enterrados en el lecho marino por todo el planeta (en términos energéticos, representan aproximadamente el doble que todos los demás combustibles fósiles juntos), los cuales se mantienen estables en estado sólido sólo por el efecto de la presión del agua fría que tienen encima. Uno

de los efectos del calentamiento global es, precisamente, el calentamiento de los océanos y la disminución de la presión. Este proceso podría conducir a la liberación de metano de los clatratos, y teniendo en cuenta que el metano tiene sobre la atmósfera un efecto de calentamiento 23 veces más poderoso que el carbono, su liberación conduciría a un escenario de cambio climático totalmente descontrolado. Algunos paleontólogos sospechan que este fenómeno pudo ser responsable de la mayor extinción de todos los tiempos, hace 245 millones de años, en la que 90% de las especies vivas desaparecieron. (Flannery 2007:189-191)

A lo largo de la historia del planeta, la Vida ha demostrado gran flexibilidad adaptándose a condiciones extremas, pero si el cambio se produce demasiado rápido, los organismos y ecosistemas no tienen tiempo de adaptarse y mueren. Al final de la última glaciación, el calentamiento más rápido registrado fue de 1°C por milenio. “Hoy en día nos enfrentamos a un cambio treinta veces más veloz que entonces” (Flannery 2007:64). Además:

El calentamiento global no podía haber llegado en un peor momento para la biodiversidad. En el pasado, cuando ocurrían bruscos cambios climáticos, los árboles, los pájaros, los insectos migraban a lo largo de continentes enteros. En el mundo moderno, habitado por 6,500 millones de seres humanos, dichos movimientos no son posibles. Hoy en día, casi toda la biodiversidad se restringe a parques nacionales y bosques. (Flannery 2007: 176)

Algunos científicos afirman que aún en el escenario más optimista, en el que el calentamiento global se produzca en el nivel más bajo posible (entre 0.8 y 1.7°C), una quinta parte de las especies que hoy viven están condenadas a la extinción. En un escenario intermedio (con un calentamiento de entre 1.8 y 2°C), alrededor de una cuarta parte de las especies desaparecerán. En el caso de que las temperaturas se eleven más de 2°C, al menos un tercio de las especies se extinguirán. (Flannery 2007: 180-181)

Pero la extinción de gran cantidad de especies no es sólo un pronóstico ni una preocupación a futuro. La Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica de la ONU publicó en 2010 el informe *Perspectiva mundial sobre la diversidad biológica 3* —conocido como GBO3 por sus siglas en inglés (*Global Biodiversity Outlook 3*)—, en el que señala que:

Las poblaciones de especies silvestres de vertebrados decreció en promedio casi un tercio (31%) a nivel mundial entre 1970 y 2006; la disminución fue especialmente marcada en los trópicos (59%) y en los ecosistemas de agua dulce (41%). (GBO3: 24)

Otros informes recientes coinciden en señalar que la pérdida de biodiversidad planetaria producida entre 1970 y 2005 es de al menos un 30%, por ejemplo el índice *Planeta vivo* de la WWF (2010) o los informes de la *European Environmental Agency*.

El GBO3 contiene una serie de indicadores para “evaluar, con rigor científico, las tendencias del estado de los diversos componentes de la biodiversidad (genes, poblaciones, especies, ecosistemas), las presiones a las que está sometida la biodiversidad y las respuestas que se adoptan para resolver el problema de su pérdida” (GBO3: 21) , y señala que “las tendencias actuales son mucho peores de lo que se creía” (GBO3: 15). Entre otras conclusiones, afirma que:

- Se están reduciendo aún más la mayoría de las especies cuya distribución y tamaño de población son limitados, mientras que se están volviendo más comunes algunas especies invasoras. Aumenta el peligro de extinción de muchas especies amenazadas, aunque algunos programas de recuperación de especies han sido muy satisfactorios. (GBO3:22)
- Las especies de todos los grupos cuyas tendencias se conocen están, en promedio, cada vez más al borde de la extinción; los anfibios son los que corren más peligro y los corales constructores de arrecifes de aguas cálidas muestran el deterioro de estado más rápido. (GBO3:26)

- De ciertos grupos seleccionados de vertebrados, invertebrados y plantas, entre el 12% y el 55% de las especies corre peligro de extinción en la actualidad. Las evaluaciones preliminares indican que el 23% de las especies vegetales están amenazadas. (GBO3:26)
- Se está reduciendo la extensión de la mayoría de los hábitats y ecosistemas del mundo, aunque en algunas regiones se amplían las zonas forestales y se ha desacelerado significativamente la pérdida de los manglares, excepto en Asia. (GBO3:22)
- La mayor parte de los ecosistemas terrestres y acuáticos está cada vez más fragmentada, a pesar de que se reconoce más el valor de los corredores y las conexiones, especialmente para la adaptación al cambio climático. (GBO3:22)

Desde hace varios años, muchos científicos han estado de acuerdo en que la crisis de biodiversidad global que observamos en las últimas décadas es de tal magnitud que constituye *la sexta extinción masiva* en la historia de la Vida sobre la Tierra (Leakey & Lewin 1997; entre otros).

La historia de la Tierra no es, evidentemente, una historia de progresión gradual, como habían deseado con fervor Lyell y Darwin, sino de convulsiones esporádicas y espasmódicas. Algunas tuvieron un alcance moderado y en ellas desaparecieron entre el 15 y el 40 por ciento de las especies animales marinas, pero hubo otras más implacables. Este último grupo, conocido como el de las Cinco Grandes, comprende crisis bióticas en las que desapareció por lo menos el 65 por ciento de las especies en un lapso geológico breve. (Leakey & Lewin 1997: 35)

La hipótesis más aceptada en torno a las causas de la quinta gran extinción es la del impacto de un asteroide que habría puesto fin a la era de los grandes reptiles, hace aproximadamente 65 millones de años, luego de lo cual vino la era de los mamíferos, en cuyos últimos instantes aparece el ser humano. En 2006, el GBO2 reconocía también que “actualmente somos responsables del sexto período de

extinción más importante de la historia de la Tierra y el mayor desde que desaparecieron los dinosaurios hace 65 millones de años” (GBO2: 10).

El cambio global y la sexta extinción masiva en la historia de la Vida sobre la Tierra son *antropogénicos*: son producto de los efectos acumulados de la actividad humana. Cuando se habla de metabolismo, en ocasiones se le asocia con las ideas de “equilibrio” o “autorregulación”. Pero también hay metabolismos cuyo crecimiento descontrolado puede conducir a la destrucción del metasisistema del que forman parte —como el cáncer— lo que es, finalmente, autodestructivo. El metabolismo del sistema urbano-agro-industrial ha sido eso, como un cáncer en la biósfera.

Desde una perspectiva antropocéntrica, los llamados “servicios ambientales” —aquellos procesos ecológicos indispensables para la supervivencia de las sociedades humanas, como son: fotosíntesis y productividad biológica, producción de oxígeno y captura de carbono, captación de agua, edafogénesis (creación de suelo), regulación climática, etc.— se verían fuertemente mermados y, en muchos casos, agotados. Esto quiere decir que muchos de los principales insumos requeridos por las sociedades humanas (agua, biomasa, tierra habitable/cultivable, minerales, etc.) se volverán escasos o dejarán de estar disponibles. En términos sociales, millones de personas se volverían “afectados ambientales” lo que generaría grandes flujos migratorios y la intensificación de conflictos con alto potencial de violencia, en el momento con la mayor cantidad de armamento de la historia, incluyendo enormes arsenales de armas de destrucción masiva. Sobre este punto, la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica de la ONU (2010: 15) ha señalado que:

Las consecuencias de las tendencias actuales son mucho peores de lo que se creía y hacen peligrar la prestación permanente de servicios ecosistémicos vitales. Es muy posible que los pobres sufran consecuencias desmedidas por los cambios potencialmente catastróficos que se producirán en los ecosistemas en los próximos decenios pero, en última instancia, todas las sociedades llevan las de perder.

Y añade:

No podemos seguir siendo testigos de la continua pérdida de la biodiversidad como una cuestión ajena a las principales preocupaciones de la sociedad. [...]

Las medidas que se tomen durante los próximos diez o veinte años [...] determinarán si, pasado este siglo, han de perdurar las condiciones ambientales relativamente estables de las que ha dependido la civilización humana en los últimos 10,000 años. (GBO3:13)

En efecto, los cambios globales actuales nos ubican ya en un momento geológico distinto al de los últimos 8 o 10 mil años, periodo que se caracterizó por una gran estabilidad climática, luego del anterior periodo de glaciaciones. Y como hemos visto, dichos cambios han producido (y producirán) la extinción de tal cantidad de especies que constituye la sexta extinción masiva en la historia del planeta. Estos cambios, junto con el agotamiento de los insumos básicos que demanda la civilización Occidental ciertamente hacen muy probable que, en el siglo XXI, enfrentemos el mayor colapso civilizatorio en la historia de la humanidad.

3.4. Justificaciones de la dominación: historia de la cosmovisión Occidental

Además del análisis en términos externalistas sobre el desarrollo civilizatorio que condujo a la crisis global, es necesario hacer una indagación internalista sobre la cosmovisión, ideales y proyectos que históricamente han guiado dicho proyecto civilizatorio. No hemos llegado a la crisis ecosocial global guiados ciegamente por una ley natural que nos impulse inevitablemente hacia la “complejidad” (civilización, imperialismo, etc.), este proceso ha sido sostenido por una sucesión de cosmovisiones (con sus rupturas y continuidades) que han permitido articular el esfuerzo de millones de personas a lo largo de siglos de historia. En particular, rastrearé aquellas visiones que promueven un ideal de dominación de la

naturaleza (dualismo metafísico, antropocentrismo, tesis de la excepcionalidad humana) y de unos humanos sobre otros, así como los ideales de acumulación, maximización, crecimiento, expansionismo, conquista...

Como advierte Seyla Benhabib (2006), siempre que se trata de definir “la cultura” de una cierta sociedad se corre el riesgo de presentar una visión demasiado simplista y artificial, como si “las culturas” fueran totalidades integradas y claramente delimitables, homogéneas al interior del grupo humano en cuestión y susceptibles de ser descritas de manera no-controvertida, ignorando que dicha “descripción” acarrea siempre importantes consecuencias políticas. Un investigador que se proponga “descubrir cuál es la cultura” de un cierto grupo humano tenderá a generar descripciones esencialistas, imponiendo coherencia y exagerando la homogeneidad interna sobre el conjunto para poder nombrar y clasificar a los grupos, reificando determinados elementos como la “identidad” de los mismos. Todo esto tiende a reforzar las dicotomías que oponen un “nosotros” a un “los otros”, incrementando la sensación de distancia e inconmensurabilidad.

Benhabib argumenta a favor del reconocimiento de la polivocalidad de todas las culturas y contra la visión de totalidades homogéneas; sustituye la idea de que cada grupo posee “una cultura” (con fronteras claras que la distinguen de “otras culturas”) por una visión de “hibridación radical”. En lugar de una visión de totalidades internamente coherentes y sin suturas, propone verlas como “redes de relatos” en donde —en la heterogeneidad— hay elementos compartidos entre los individuos pero también elementos controvertidos y factibles de ser rebatidos. Así, en lugar de plantearlas como estructuras estáticas e inmutables, sostiene que deberíamos considerar las culturas como constantes creaciones, recreaciones y negociaciones de interpretaciones compartidas.

Considerando lo anterior, intentar plantear una visión histórica de las ideas dominantes en Occidente resulta una tarea sumamente compleja cuyos resultados serán inevitablemente incompletos y controvertidos. Para empezar, al hablar de “Occidente” y aún de la “modernidad occidental”, soy consciente de que me refiero a un conjunto enormemente heterogéneo y plural, intrínsecamente multicultural, híbrido, sin fronteras claras, dinámico y cambiante. A lo más que podría aspirar es

a señalar *algunas* de las principales corrientes de pensamiento. Además, las ideas dominantes en una sociedad suelen ser las ideas del grupo dominante en su interior, ideas que benefician más a unos que a otros, y que son defendidas como “la Verdad” para mantener el *statu quo*, pero que, pese a todos los mecanismos de estabilización (que muchas veces incluyen altas dosis de violencia física), siempre podrán ser cuestionadas y rebatidas, siempre encontrarán disidentes, y en un momento dado pueden perder su hegemonía, produciéndose pequeñas o grandes revoluciones del pensamiento. Sobre esta muy amplia y compleja dinámica, más que intentar un recuento histórico completo busco reflexionar en torno a algunos momentos, continuidades y rupturas que resultan importantes para una reconsideración crítica de nuestra historia. Así pues, los complejos diálogos, y entrecruces de las líneas de pensamiento que abordaré de ninguna manera reflejan la *totalidad* de Occidente ni mucho menos alguna característica esencial que no sea susceptible de transformación.

Rechazando también esa visión de Occidente como una entidad monolítica —todas las sociedades contienen, en mayor o menor medida, visiones disidentes y alternativas a la que se considera hegemónica— Morin dedica un capítulo de su libro a revisar lo que en uno de los fragmentos arriba citados él señalaba como el carácter ambivalente de Occidente. De acuerdo con él, si bien Europa occidental ha sido “el hogar de la dominación bárbara sobre el mundo”, también ha sido cuna de ideas emancipatorias (como los derechos humanos, la ciudadanía y el humanismo) que han sido utilizadas por los propios pueblos colonizados y sometidos en sus luchas por la liberación (Morin 2006: 76). En el seno de Occidente también se han generado “antídotos” para la dominación y la barbarie, y lo mismo puede decirse con respecto a la dominación y destrucción de la Naturaleza.

3.4.1. Antecedentes premodernos

Dios, el Hombre y la Creación

Si bien —como advierte Schaeffer— las preguntas por el origen de una idea corren siempre el riesgo de no encontrar jamás una respuesta, rastreando la historia de la tesis de la excepción humana en Occidente encontramos un antecedente premoderno claro en ciertos elementos del pensamiento judeocristiano. De acuerdo con el relato bíblico⁸¹, en el sexto día de la Creación, una vez que Dios había creado al mundo y a todas las criaturas, dijo: “Ahora hagamos al hombre. Se parecerá a nosotros, y tendrá poder sobre los peces, las aves, los animales domésticos y los salvajes, y sobre los que se arrastran por el suelo”. Después instruyó a los hombres: “Tengan muchos, muchos hijos; llenen el mundo y gobiérnenlo; dominen a los peces y a las aves, y a todos los animales que se arrastran” (Gn 1. 26-28). Como señala Lynn White:

El hombre dio nombre a todos los animales, estableciendo de este modo su dominio sobre ellos. [...] Y aunque el cuerpo del hombre fuera creado de arcilla, él no es simplemente parte de la naturaleza: fue creado a imagen y semejanza de Dios. (White 2007: 83)

Así pues, en la cosmogonía⁸² judeocristiana se establece de entrada una dicotomía fundamental entre “el hombre” (y la mujer, aunque ésta tendría un status distinto pues fue creada para que el hombre no estuviera solo) y el resto de la Creación: sólo aquel puede considerarse verdaderamente “hijo de Dios”, siendo el

⁸¹ Los exégetas contemporáneos reconocen un intrincado trasfondo multicultural en las Sagradas Escrituras, identificando que “los autores hebreos de las tradiciones textuales que luego constituirían el Génesis utilizaron relatos míticos de los pueblos vecinos del Cercano Oriente como material para transmitir su experiencia de Yahveh, tal como fue experimentada a lo largo de la historia de Israel” (de Asúa, 2009: 19), por lo que “los materiales del relato bíblico son en parte comunes a otros relatos mesopotámicos” (de Asúa, 2009: 23).

⁸² Por «cosmogonía» entiendo lo que sería una parte de la cosmología de un grupo humano, aquella que plantea una explicación o relato sobre el *origen* del universo, cómo este surgió o fue creado, etc.

único que posee un alma inmortal y, por lo tanto, el único para el que podrán eventualmente abrirse las puertas del Cielo. Así pues, toda la Creación existe en función del “Hombre” y se encuentra a su disposición, gobernarla y sacar provecho de ella constituye la realización del plan divino.

Como ya decía, desde esta visión se considera que el Creador tiene una relación de *exterioridad* con su creación (lo que en términos técnicos se expresa como «causa trascendente»), a diferencia de lo que ocurre en los planteamientos panteístas (que corresponden a la idea de «causa inmanente»). Las cualidades de agencia y voluntad —cualidades propias de un Sujeto— se entienden como exteriores a la Naturaleza, la cual es concebida como Objeto, un producto pasivo con un funcionamiento determinado por leyes inmutables impuestas desde fuera. De este modo, la relación del hombre con la Naturaleza se plantea en términos de *exterioridad* y de *dominio*. De acuerdo con White, el pensamiento judeocristiano “en contraste absoluto con el paganismo antiguo y las religiones asiáticas (exceptuando, quizás, al zoroastrismo), no solo estableció un dualismo entre el hombre y la naturaleza, sino que también insistió en que era la voluntad de Dios que el hombre explotara la naturaleza para su propio beneficio”. Reflexionando sobre “las raíces históricas de nuestra crisis ecológica”, White ha dicho que, “el cristianismo es la religión más antropocéntrica que el mundo ha conocido⁸³, especialmente en su forma occidental” (White 2007: 83), por lo que su victoria sobre el paganismo fue un proceso decisivo en la historia cultural de Occidente:

⁸³ La fe cristiana, por supuesto, no es monolítica sino diversa y compleja. El mismo White menciona como contraejemplo el caso de San Francisco de Asís, a quien califica como “el más grande de los radicales de la historia cristiana después de Cristo”. Él “propuso lo que a su juicio era una visión cristiana alternativa de la naturaleza y su relación con el hombre: intentó sustituir la idea de la autoridad humana sin límites sobre la creación por la idea de la igualdad entre todas las criaturas, incluyendo el hombre.” (White 2007: 86) “La clave para una comprensión de Francisco es su fe en la virtud de la humildad, no solamente para el individuo, sino para el ser humano como especie. Francisco intentó deponer al hombre de su monarquía sobre la creación y fundar una democracia entre todas las criaturas de Dios.” (White 2007: 85) En dicho intento, sin embargo, San Francisco fracasó. (White 2007: 86)

En la antigüedad, cada árbol, cada vertiente, cada arroyo, cada montaña tenía su propio *genius loci*, su espíritu guardián. Estos espíritus eran accesibles a los hombres, pero eran muy diferentes de los hombres; centauros, faunos y sirenas muestran su ambivalencia. Antes que alguien cortara un árbol, explotara una mina o dañara un arroyo, era importante apaciguar al espíritu a cargo de aquella situación particular y había que mantenerlo aplacado. Destruyendo el animismo pagano, el cristianismo hizo posible la explotación de la naturaleza con total indiferencia hacia los sentimientos de los objetos naturales [...]

Los espíritus en los objetos naturales, quienes en un principio habían protegido a la naturaleza de la acción del hombre, se esfumaron. El monopolio efectivo del hombre sobre el mundo fue confirmado y las antiguas inhibiciones para explotar la naturaleza desaparecieron. (White 2007: 83)

Imperio en nombre de Dios

La expansión del monoteísmo cristiano, evidentemente, implicó un amplio proceso de aculturación muchas veces forzada, en donde la visión del mundo de otros pueblos fue proscrita y perseguida para abrir paso a la del “pueblo elegido”. Edgar Morin señala que una de las armas de la barbarie cristiana ha sido la utilización de Satán, entendido como el separador, el rebelde, el negador, enemigo mortal de Dios y los humanos. Desde aquella lógica, todo aquel que no estuviera de acuerdo y que no quisiera renunciar a su diferencia estaría poseído por Satán (2006: 23). De acuerdo con Morin:

El imperio romano se caracterizaba, antes del cristianismo, por la tolerancia religiosa. Los cultos más diversos, y aún las religiones salvíficas, como el culto de Osiris, el culto de Mitra, el orfismo, eran perfectamente aceptables. El monoteísmo judío, y después cristiano, al mismo tiempo que su universalismo potencial, aportaron una intolerancia propia, yo diría hasta

una barbarie propia, fundada sobre el monopolio de la verdad de su revelación. (Morin, 2006: 22)

Según la leyenda, Constantino, emperador romano, se habría convertido al cristianismo tras tener una visión de la Cruz que le prometía victoria militar bajo su signo (*In hoc signo vinces*). Luego de que Teodosio finalmente la instaurara como religión oficial del Imperio, la persecución de los paganos se institucionalizó. Así, la dicotomía entre “fieles” e “infiel”, o entre el “verdadero Dios” y el “paganismo” fue el fundamento con el que se emprendieron grandes esfuerzos de evangelización en donde la Cruz fue respaldada por la Espada: en nombre de una Verdad única, se emprendieron guerras santas y cruzadas.

Con este fundamento —que la evangelización justifica la invasión⁸⁴— es que los invasores españoles llegaron al continente americano en 1492, año que marca un hito en el proceso de mundialización de la influencia de Occidente. El propio Colón llegó a América concibiéndose como un elegido encargado de una misión divina: la expansión del cristianismo. En sus diarios, su incesante búsqueda de oro en las tierras descubiertas era justificada como un medio de obtener los recursos necesarios para financiar unas nuevas cruzadas para liberar Jerusalén (Todorov, 1988: 19-22).

Por otro lado —y como sugerí en un párrafo anterior— Capra subraya que, en la visión judeocristiana, la razón suprema y la fuente última de todo poder es personificada como un Dios *masculino*, quien gobierna a la Naturaleza (asociada a lo femenino) imponiendo sobre ésta su ley divina (1982: 24). Así, además de ser un marco de referencia que justifica la dominación humana sobre la Naturaleza (carácter antropocéntrico), y la dominación de occidente sobre otros pueblos

⁸⁴ En el célebre debate de la Junta de Valladolid, Ginés de Sepúlveda argumentaba que entre las causas que justificaban la “guerra contra los indios” —entendidos como pecadores e ídólatras— está el mandato evangelizador que dio Cristo a los apóstoles, la necesidad de impedir el canibalismo y otras conductas antinaturales, la obligación de salvar a futuras víctimas que serían sacrificadas en rituales paganos, etc. En contraste, Bartolomé de las Casas subrayaba las atrocidades cometidas por los españoles, planteando una poderosa crítica a la conquista y el sistema colonial.

(carácter etnocéntrico), el pensamiento judeocristiano también ha sido históricamente el sustento de un ordenamiento social patriarcal (carácter androcéntrico).

3.4.2. Modernidad temprana

Aunque en las genealogías de la Revolución Científica generalmente se plantee a la Iglesia como la autoridad dogmática medieval represora de las nacientes teorías científicas —con instituciones como la Santa Inquisición para la supresión de la herejía⁸⁵—, también hay que considerar que todos los “padres de la Ciencia” desarrollaron sus teorías como una continuidad de la tradición de la teología natural medieval: el estudio religioso de la Creación para la mejor comprensión de Dios. Siendo que Dios había creado la Naturaleza, esta también debía revelar la mentalidad divina, por lo que se trataba de un tema de investigación muy relevante. Esta tradición, a su vez, heredaba el impulso de la filosofía natural griega⁸⁶.

La misma idea de “Revolución Científica” no está exenta de controversia entre los historiadores. De acuerdo con Pierre Thuillier (1990: II), dicha idea forma parte de una visión simplificadora que resume la historia del saber en Occidente

⁸⁵ Sobre este punto, los procesos contra Nicolás Copérnico, Giordano Bruno y Galileo Galilei han sido enfatizados hasta volverse emblemáticos.

⁸⁶ Un largo linaje de pensadores griegos reflexionó sobre la naturaleza de los seres vivos, el origen de la vida, etc., entre ellos: Empédocles, Anaximandro, Leucipo, Demócrites, Jenófanes y por supuesto Platón y Aristóteles, quienes serían una influencia determinante para el pensamiento medieval. Entre los “padres de la Iglesia” hubo los que rechazaron tajantemente todo conocimiento pagano y quienes buscaron asimilar al cristianismo todo lo que consideraban valioso del pensamiento griego, explorando planteamientos que armonizaran la exégesis hebrea con la cultura helenística, entre estos: Justino, Clemente de Alejandría, Orígenes, etc. (véase de Asúa 2009)

Mark Musser señala que los precursores de la ciencia moderna fueron escolásticos católicos, siendo después los luteranos quienes expandirían y profundizarían la Revolución Científica, p.ej.: Da Vinci, uno de los más grandes científicos cristianos; Copérnico y Kepler provenían del luteranismo; la motivación última de Isaac Newton era el amor a Dios... (2009: 3)

mediante una división muy cómoda: caracterizando la Edad Media como un periodo de estancamiento y oscurantismo, se ensalza el Renacimiento como una etapa intermedia en la que maduraron las ideas nuevas, abriendo el camino a la edad de la ciencia verdadera, que abarcaría de Galileo hasta nuestros días. Sin embargo, señala el autor:

hay que darse cuenta de que la «revolución científica» del siglo XV fue preparada, preparada durante largo tiempo; y que, en numerosos aspectos, puede considerarse como el resultado de un movimiento sociocultural sólidamente enraizado en los siglos anteriores [...] Por una parte, el Renacimiento sigue penetrado por caracteres medievales [...] Por otra parte, se puede descubrir en la Edad Media el origen de muchas ideas y actitudes que generalmente se atribuyen al Renacimiento (1990: 80-81).

Así, con todo y las profundas transformaciones que implicó el paso de la visión medieval del mundo a la visión moderna, también existen muy importantes continuidades. En este sentido, la versión de que el pensamiento moderno tuvo que emprender una lucha sin precedentes para establecer el derecho de la razón contra la cerrazón oscurantista medieval tiene mucho de leyenda, una especie de mito de origen para la ciencia que busca autoafirmarse planteando la visión de una ruptura fundamental entre “tipos de pensamiento” que se oponen como la sombra y la luz. (Thuillier: 1990: 81)

En este sentido, algunos medievalistas hablan del “Renacimiento del siglo XII” en donde comenzó a definirse una nueva concepción de la Naturaleza. En dicha época, varios teólogos dirigieron una renovada curiosidad hacia el mundo natural. “Por supuesto respetaban la Biblia como expresión de la palabra de Dios. Pero, en lugar de comentarla en un marco exclusivamente teológico, se pusieron a interpretarla ‘según la física.’” Ante un texto como el Génesis, por ejemplo, no habría que contentarse con ser un creyente pasivo: hay que encontrar explicaciones naturales, como en el caso de Guillermo de Conches (1080-1145). (Thuillier 1990: 85-88)

Espíritus y autómatas

En los siglos XVI y XVII, los llamados pioneros del pensamiento científico seguían entendiendo el mundo desde el marco cosmológico judeocristiano. Es el caso de René Descartes, quien con gran genio y originalidad sentó las bases sobre las que se desarrollaría el pensamiento occidental en los siglos siguientes. Su metodología de la duda radical —paradigma del escepticismo científico— le condujo a reafirmar la existencia de Dios como causa última de las cosas (con una demostración que recuerda los argumentos ontológicos de San Anselmo o San Buenaventura).

Como ya veíamos, para Descartes, el mundo estaba dividido de manera fundamental en dos dominios ontológicos diferentes, radicalmente independientes e inconmensurables entre sí: la realidad “espiritual” (*res cogitans*) y la realidad “material” (*res extensa*). Esta división ontológica entre el dominio espiritual y el material refleja la separación entre “lo divino” y “lo creado” desde la cual se concibe a Dios como causa trascendente del mundo.

En el marco de este dualismo ontológico, Descartes plantea una segunda ruptura fundamental: entre todos los entes materiales, el hombre es el único que participa de la realidad espiritual. Si bien es posible afirmar que muchos otros grupos humanos también asumen distintas formas de pluralismo ontológico (entre las que el dualismo es una posibilidad), “por lo general conceden esa dualidad o pluralidad ontológica no sólo a los humanos, sino también a seres no humanos: a los animales, a las plantas, [y] hasta a “entidades” que forman parte de la naturaleza no-viviente (según nuestras categorías)” (Schaeffer 2009: 27-28). Lo que desde nuestros marcos de referencia hemos llamado “animismo” es precisamente un planteamiento cosmológico en el que diversos tipos de entes (no sólo humanos) participan de la realidad “inmaterial” o “espiritual”, lo que comúnmente entendemos como la cualidad de tener “alma”.

La tesis de la excepción humana constituye la postura contraria, planteamiento que según Schaeffer y otros autores es casi exclusivo de la “cultura occidental”: la mayoría de los grupos humanos se inclinan por alguna forma de continuismo o gradualismo. Al igual que en la visión judeocristiana, Descartes

sostiene que existe una discontinuidad fundamental entre los seres (a lo que Schaeffer se refiere como «ruptura óptica»), estando el hombre por un lado y todo el resto por el otro. Así, si bien el ser humano comparte con los animales la existencia en el plano material, la “esencia humana” —y la de ningún otro ser viviente— se ubica en el plano espiritual. Si el ser humano es el único cuya esencia es un alma racional (entendida como radicalmente inmaterial), es también el único que puede ser considerado un *sujeto*. La Naturaleza —el universo físico, los animales y el propio cuerpo humano— son concebidos como meros *objetos*, como autómatas⁸⁷.

En este marco, por lo tanto, se plantea una visión *escindida* del ser humano, entre la materialidad de su cuerpo y la inmaterialidad de la “mente” o el “alma racional”. La relación entre cuerpo y mente es fuertemente asimétrica: la esencia humana está en el aspecto inmaterial —la Razón—, siendo la corporalidad material un atributo secundario y subordinado. Schaeffer se refiere a esto cuando habla de que en Descartes encontramos una «concepción gnoseocéntrica del ser humano», aquella que postula que nuestra “esencia” se sitúa en la facultad del *conocer*, lo que en la visión cartesiana se identifica con el *pensar*: ante todo, somos “seres pensantes”, y esto constituye la especificidad radical del ser humano. En última instancia, “concebido como pensamiento puro, el sujeto humano es al mismo tiempo exterior al mundo y soberano frente a él” (Schaeffer 2009: 42).

La relación entre “el hombre y la Naturaleza” se plantea nuevamente como una relación sujeto-objeto, planteando una dicotomía fundamental entre un espíritu

⁸⁷ Como señala Hans Jonas, en la época de Descartes los autómatas (máquinas que simulaban la figura y movimientos de seres animados) servían sobre todo para entretenimiento. Sin embargo, no era concebible que Dios mismo hubiera creado a los seres vivos (entendidos a partir de Descartes como autómatas que sólo se distinguían de aquellos creados por el hombre por ser más perfectos y estar conformados por un mayor número de partes) por la misma razón: incluso el placer intelectual que tales creaciones podrían dar no sería, para inteligencias lo suficientemente grandes, “otra cosa que la ejemplificación, repetida una y otra vez, de unas pocas verdades, siempre las mismas, elementales y en último término triviales. Sólo quedaba la vieja idea, a la par estoica y cristiana, de que las plantas y los animales existen con vistas al hombre.” (Jonas 2000: 85).

cognoscente, activo y libre y una materialidad inerte, pasiva y determinada; planteando una separación radical entre el sujeto cognoscente y el objeto conocido, que en última instancia pertenecen a dominios ontológicos distintos. Manteniendo un carácter radicalmente antropocéntrico, la filosofía cartesiana configura una nueva cosmología para el dominio y la explotación de la Naturaleza, en donde la Ciencia paso a tener un papel principal.

La Ciencia, a su vez, resulta atravesada por una ruptura radical. Si la realidad espiritual (en donde reside la esencia humana) y la realidad material son dominios esencialmente diferentes, entonces las vías mediante las que podemos obtener conocimiento sobre ambas también deben ser fundamentalmente distintas, es decir que, el conocimiento de lo que es propiamente humano exige una vía de acceso y un tipo de conocimiento que se distinguen radicalmente de los medios cognitivos que nos permiten conocer a los otros seres vivientes y a la Naturaleza. En este sentido, Descartes estableció una dicotomía epistémica entre la vía *externalista* del conocimiento (basada en los “datos sensibles” como una fuente “externa” a la conciencia) y la vía *internalista* (basada en la pura autoinspección de la conciencia, vía que para Descartes tiene una primacía absoluta). Como expuse, esta ruptura entre el conocimiento de “lo natural” y el de “lo propiamente humano” (lo que Schaeffer caracteriza como “segregacionismo epistémico”) prefigura lo que en la actualidad sobrevive como la separación entre las llamadas “ciencias naturales” (físicas, biológicas, etc) y las ciencias “de lo humano” (sociales, de la cultura, etc).

Ciencia para la dominación de la Naturaleza

En cuanto a la vía externalista del conocimiento, las ideas de Descartes tuvieron un impresionante éxito como fundamento para las ciencias. Como observa Hans Jonas, con la premisa del dualismo ontológico, Descartes “entregaba a la ciencia natural, para que trabajase sobre ella, una pura *res extensa* [...] una sustancia cuyo atributo esencial y único es la extensión, por lo que conocerla consiste esencialmente en medirla y describirla matemáticamente” (Jonas 2000: 78-79).

Considerando la Naturaleza como un sistema mecánico determinado por leyes fijas, el reto para las ciencias radica en descubrir tales leyes. La duda metódica, el pensamiento analítico, y la descripción matemática de los fenómenos fueron elementos muy importantes en la construcción del método científico que prometía conducir hacia una ciencia general de la Naturaleza sobre cuyos resultados se podría tener absoluta certeza. El universo entero parecía ser un sistema material que podría describirse cabalmente y con plena objetividad, lo que se convirtió en el ideal por alcanzar para las ciencias.

Tanto Descartes como Francis Bacon (cristiano, defensor del método empírico y el razonamiento inductivo) afirmaban que la ciencia conferiría al hombre un poder sobre la Naturaleza pues en la medida que el método científico acierte en descubrir las leyes que gobiernan el mundo material, la ciencia abriría la posibilidad para que el hombre pueda gobernar la Naturaleza mediante la utilización de dichas leyes. De hecho, según Musser (2009: 3-4), el famoso *dictum* de la ciencia moderna —*conocimiento es poder*— fue acuñado por el mismo Bacon. Esta idea de conocimiento como poder tiene sus raíces en el ideal cristiano de que el conocimiento debe ser aplicado en beneficio de la humanidad, aspecto en que, según el mismo autor, iba en contra de la idea más contemplativa del conocimiento que tenían los griegos, quienes no se planteaban la búsqueda de conocimiento para ganar poder sobre la Naturaleza.

Musser señala que el conocimiento científico moderno nacería del impulso cristiano que —particularmente con base en el Nuevo Testamento— encontraba valor en el conocimiento por un sentido práctico y aplicado, buscando fortalecer su eficiencia como *actores* que buscan controlar las circunstancias ejerciendo poder sobre la Naturaleza. El mismo autor comenta que Bacon —al igual que otros de los primeros científicos cristianos— se basaba en la idea de que el Hombre, al ser expulsado del Paraíso, había perdido lo mismo la inocencia que su dominio sobre la Naturaleza, pérdidas que en alguna medida podían y debían ser reparadas: la inocencia por medio de la fe y la religión, el dominio por medio de las ciencias y las artes, lo que constituyó una de las motivaciones originales de la Revolución Científica (2009: 4-5).

La forma en que el propio Bacon explicaba que el propósito de la ciencia es controlar y dominar a la Naturaleza dice mucho sobre el trasfondo sobre el que surgió el método científico. De acuerdo con Capra:

The terms in which Bacon advocated his new empirical method of investigation were not only passionate but often outright vicious. Nature, in his view, had to be ‘hounded in her wanderings,’ ‘bound into service,’ and made a ‘slave.’ She was to be ‘put in constraint,’ and the aim of the scientist was to ‘torture nature’s secrets from her.’ (Capra 1982: 40)

Como el mismo autor comenta, estas violentas imágenes parecen inspiradas por los juicios contra las brujas que se practicaban con frecuencia en los tiempos de Bacon. Como abogado general para el Rey Jaime I, Bacon estaba muy familiarizado con dichos procesos, y siendo que la



Naturaleza era comúnmente vista como femenina, no es muy sorprendente que él transportara las metáforas inquisitoriales a sus escritos científicos. Y en efecto, su visión de una Naturaleza feminizada cuyos secretos deben ser extraídos mediante la tortura realizada con ayuda de aparatos mecánicos es una clara alusión a la práctica de tortura de mujeres, muy difundida a principios del siglo XVII. Así, el trabajo de Bacon constituye un ejemplo destacado del entrelazamiento de actitudes patriarcales con el pensamiento científico. (Capra 1982: 40-41)

Mundo-máquina

De acuerdo con Capra, antes de 1500, la visión sobre la Naturaleza dominante en Europa era orgánica y espiritual, donde la Tierra aparecía como una “*nurturing mother*” (Capra 1982: 37). Esta visión fue profundamente transformada y gradualmente desapareció conforme la Revolución Científica reemplazó la visión

orgánica por la metáfora del mundo como una máquina. La transición entre estas dos «metáforas raíz» en términos de Stephen C. Pepper (1942, en Turner 2002:37), o «arquetipos conceptuales» en términos de Max Black (1962 en Turner 2002:37), significó una de las más importantes transformaciones culturales en la historia del pensamiento occidental, uno de aquellos momentos críticos de la historia en los que se produce el reemplazo

de una metáfora fundacional por otra, en la contemplación humana del universo, de la sociedad y de sí mismo. La equiparación metafórica del universo con un *organismo*, en cuanto a su estructura, producirá una serie de derivaciones, y éstas se vuelven proposiciones dentro de sistemas filosóficos complejos. Pero cuando, por el contrario, como sucedió en el siglo XVII, el universo se equipara con una *máquina*, se afecta no solamente la ciencia física, sino áreas completas de la filosofía moral y la psicología humana. (Nisbet 1969, en Turner 2002: 40)

En el mismo sentido, Carolyn Merchant subraya la importancia de este reemplazo en términos de su influencia sobre el comportamiento humano:

The image of the earth as a living organism and nurturing mother served as a cultural constraint restricting the actions of human beings. One does not readily slay a mother, dig into her entrails for gold, or mutilate her body [...] As long as the earth was considered to be alive and sensitive, it could be considered a breach of human ethical behavior to carry out destructive acts against it. (Merchant 1980 en Capra 1982: 46)

Estas restricciones culturales habrían desaparecido conforme la mecanización de la ciencia tuvo lugar. Mark Musser (2009: 4) explica que, mientras que para el pensamiento griego la ciencia moderna tendría algo de sacrílego, el estudio y manipulación de la Naturaleza no se consideraban actos irreverentes hacia el Dios judeocristiano puesto que este está separado de la Naturaleza, siendo trascendente con respecto a ella. El propio Descartes compartía la visión de Bacon de que el objetivo de la ciencia era la dominación y el control de la Naturaleza, afirmando que el conocimiento científico “*could be used to ‘render*

ourselves the masters and possessors of nature”. Así, la visión cartesiana del universo como un sistema mecánico siguió justificando la manipulación y explotación de la Naturaleza, cuestión que se volvería característica de la civilización Occidental. (Capra 1982: 46)

Este complejo proceso fue completado en gran medida gracias a la obra de Isaac Newton. Fue él quien cumplió el sueño cartesiano de develar las leyes matemáticas que gobiernan el funcionamiento del universo material, formulando un marco de referencia general que integraba las aportaciones de Copérnico, Kepler, Bacon, Galileo y Descartes, al tiempo que proponía un método completamente nuevo —el cálculo diferencial— para describir con enorme exactitud el movimiento de los cuerpos sólidos y la influencia de la fuerza de gravedad sobre éstos, todo lo cual ha sido calificado por Albert Einstein como “quizás el mayor avance en la historia del pensamiento que un genio individual ha sido capaz de lograr”.

En la visión newtoniana, el universo entero consistía en un gran conjunto de pequeñas partículas materiales, sólidas e indestructibles; ésta era la idea original del «átomo», la unidad mínima de materia de la que se componen todos los objetos materiales, una unidad absolutamente indivisible. El movimiento de las partículas obedece a la fuerza gravitatoria, movimiento que tiene lugar en un espacio tridimensional absoluto, cuyos cambios se describen en función de una dimensión a parte: el tiempo, que también es absoluto. Así, para la mecánica newtoniana, todos los fenómenos físicos son, en última instancia, resultado del movimiento de las partículas materiales elementales ocasionado por las fuerzas de atracción entre ellas. Como se ve, esta visión mecanicista está basada en un estricto determinismo, siendo el funcionamiento de la enorme máquina cósmica completamente causal y determinado. Todo acontecimiento tiene una causa definida y da lugar a un efecto definido, por lo que —en principio— el futuro de cualquier parte del sistema podría predecirse con absoluta certeza si pudiéramos conocer su estado presente con todos los detalles.

Esta imagen de un mundo-máquina implicaba la idea de un creador externo como aquel que se planteaba en la visión bíblica. Newton pensaba que, en el

principio, Dios creó las partículas materiales, las fuerzas existentes entre ellas y las leyes fundamentales del movimiento. Entonces, echó a andar el universo en su totalidad, el cual continuaría funcionando desde entonces como una máquina perfecta gobernada por leyes inmutables (Capra 1982: 52). La entonces consolidada cosmología moderna siguió oponiéndose a los reductos de aquella idea de un cosmos vivo y autocreador de las visiones panteístas basándose en un marco deísta pues, para Newton, la gigantesca máquina era impensable sin su constructor. Pero este no fue el caso de algunos de sus sucesores.

Quedarse el reloj, deshacerse del relojero

Más allá de su veracidad como hecho histórico, la popularidad de ciertas historias ilustran el “espíritu” de una época. Es el caso de la muy repetida anécdota según la cual, cuando Pierre Laplace —gran admirador y continuador de la obra de Newton— entregó al emperador Napoleón los dos primeros tomos de su monumental tratado sobre mecánica celeste, este último le preguntó si era verdad que en su explicación sobre el sistema del universo no figuraba la presencia de Dios. Según la leyenda, Laplace respondió que “no necesitaba de dicha hipótesis”.

Y en efecto, luego de que en el Siglo de las Luces los astrónomos newtonianos hubieran tenido asombrosos éxitos en la exactitud para predecir el regreso de algunos cometas, el modelo newtoniano fue rápidamente adoptado como la forma Verdadera de describir el universo. Los científicos modernos continuaron ampliando y desarrollando ese modelo, acumulando observaciones empíricas y aplicándolo a fenómenos nuevos. Se fue asumiendo que la explicación de los fenómenos físicos “no necesitaba” suponer la intervención de entidades inmateriales. La “realidad espiritual” (*res cogitans*) dejó de considerarse un objeto de estudio posible y, posteriormente, incluso dejó de aceptarse como una dimensión ontológica “real”, lo que condujo al monismo materialista característico del pensamiento moderno de los últimos siglos⁸⁸. Al mismo tiempo,

⁸⁸ Como apunta Hans Jonas, en la situación postdualista (el escenario planteado por el dualismo cartesiano) el monismo tiene dos posibilidades fundamentales: el

se eliminó la idea de un Plan Divino como programa rector del funcionamiento del universo, rechazando a partir de entonces toda explicación teleológica.

Así, los científicos modernos, guiados por el proyecto de ciencia externalista de Descartes, armados con el poderoso método científico y construyendo sobre la sólida estructura desarrollada por Newton, continuaron estudiando la “mecánica de relojería” que hace funcionar al universo —y con ello, conquistándolo—, simplemente *olvidándose del relojero*. Como dice Capra, “lo divino desapareció completamente de la visión científica del mundo, quedando en su lugar el vacío espiritual” que se ha vuelto dominante en el desarrollo cultural de Occidente (Capra 1982: 53).

Pero al desaparecer la figura de un Dios creador externo (causa trascendente) no se regresó a la visión de un cosmos vivo y autocreador (causa inmanente), sino que se conservó la idea de una materialidad inerte y pasiva, a la que tácitamente se atribuyeron ciertas propiedades “divinas” como la eternidad, la infalibilidad, etc. Sin embargo, se siguió viendo a la Naturaleza como *res extensa*, es decir, como una “naturaleza muerta” y determinada. Y se mantuvo la concepción del hombre como una excepción dentro del mundo; libre, a diferencia de la Naturaleza, y de alguna forma manteniendo con ella una relación de exterioridad y dominio. En este sentido, la ciencia moderna y las tecnologías derivadas significaron —en los hechos— una continuación *atea* del proyecto de dominación surgido del dogma cristiano occidental voluntarista acerca de la trascendencia del hombre sobre la Naturaleza y de su legítimo dominio sobre ella (White 2007: 85).

La tesis de la excepción humana —premisa de una cosmología que justifica la dominación de la Naturaleza— ya había sobrevivido a la Revolución Copernicana, aquella en la que la Tierra perdió su lugar como centro del universo, con lo que metafóricamente el ser humano perdía centralidad en el escenario de la

materialismo moderno y el idealismo moderno. Ambas se basan en la polarización ontológica producida por el dualismo, situándose cada una en uno de los dos polos y tratando de abarcar, desde ahí, toda la realidad. Se distinguen, por lo tanto, del monismo integral predualista, en el que los dos aspectos descansaban uno al lado del otro sin haberse separado. (Jonas 2000: 31)

Creación, situación que ponía en duda su status de “elegido”. Posteriormente, tendría que asimilar también la teoría de la evolución de las especies, la cual postulaba una idea de continuidad óptica que “amenazaba” con *reducir* al ser humano a la categoría de un simple animal más.

El segundo Adán

A mediados del siglo XVIII, Carolus Linneo fundó la taxonomía moderna al presentar su original nomenclatura binomial para los seres vivos, con un primer término indicativo del género y un segundo para el nombre particular de cada especie. En dicha nomenclatura —que se convertiría en el sistema clasificatorio oficial para el Occidente moderno, de pretendida validez universal— se incluyó por primera vez a nuestra especie como parte del reino animal. En el contexto de una nomenclatura que albergaría denominaciones como: *Papilio horribilis*, *Phyllobates terribilis*, *Gerrhonotus infernalis* o *Embryona satanicus*, la autodenominación como “*Homo sapiens*” es más que halagadora: expresa la concepción gnoseocéntrica de la “esencia humana” a la que estamos tan acostumbrados.

No obstante, incluirnos junto con otros animales como parte de los primates atentaba directamente contra la idea que el ser humano pertenece a una categoría a parte, por lo que desató fuertes reacciones tanto de teólogos como de científicos. De hecho, en la primeras ediciones del *Systema Naturae*, siendo que Linneo había encontrado tantas similitudes anatómicas entre ellos, la categoría bajo la cual se incluía al *Homo sapiens* y otros monos era “*Antropomorpha*”, designación que posteriormente cambió por “*Primates*” buscando apaciguar a quienes se oponían con el argumento de que si Dios hizo al hombre a su imagen y semejanza, tal clasificación parecía implicar que los monos también representaban la imagen de Dios.

Para Linneo —quien sería conocido como “el segundo Adán”—, todas las especies animales y vegetales observables eran fundamentalmente las mismas que existían desde el momento de la Creación. Desde esta visión —creacionista, fijista, con fuerte influencia del platonismo medieval— la manera en que cada

organismo se desarrollaba hasta su forma adulta a partir de las más pequeñas semillas germinales revelaba de manera palpable el Plan Divino que regía en el universo. Si bien su funcionamiento se consideraba “automático” —no interviniendo en ello inteligencia ni intencionalidad—,

de todas maneras su construcción *con vistas a* ese funcionamiento parecía postular esas mismas cualidades [inteligencia e intencionalidad] en su autor [...]

Pues cuanto más admirablemente están construidas esas estructuras, menos posible parece concebir su surgimiento de otra forma que en virtud de un propósito o plan; un plan, además, que resulta tan superior a toda perspicacia humana como superiores se muestran en su construcción las máquinas naturales [los seres vivos] a las hechas por el hombre. (Jonas 2000: 65)

3.4.3. Modernidad avanzada

La Vida sin Plan Divino

La transición hacia una cosmología que prescindía de la idea de un Dios Creador enfrentó aquí un problema. Si asumimos que el sistema solar se había originado a partir de una nebulosa —como planteaba la famosa hipótesis de Kant-Laplace—, ¿cómo explicar el prodigio de las incontables formas de vida como el resultado de una evolución ciega de la materia desde lo simple a lo complejo? ¿Cómo dar cuenta de la perfección de su funcionamiento sin ver en ello el resultado de un Plan Divino? Como ya veíamos, no sería sino hasta el siglo XIX cuando la teoría de la evolución lograría presentar una hipótesis plausible del modo en que la materia podría haber producido por sí misma la esfera de la vida, con lo que los defensores del monismo materialista dieron un enorme paso hacia adelante.

Como señala Hans Jonas, la idea de un origen común para todas las especies —cuya complejidad podía reducirse cuanto fuera necesario hasta un mínimo hipotético que no sobrecargara las probabilidades de aquel acontecimiento

fundacional pero contingente—, permitió concebir la transición de lo inorgánico a lo orgánico como producto de combinaciones casuales. Por otro lado, la naturaleza acumulativa de la dinámica evolutiva —entendida como la combinación de mutación aleatoria, selección natural y herencia— pareció capaz de sustituir la explicación del Plan Divino, con lo que —según se relata— se completó la expulsión de toda explicación teleológica de la comprensión científica de la Naturaleza, surgiendo una visión del proceso evolutivo como una auténtica aventura de transcurso enteramente imprevisible⁸⁹.

Paradójicamente, el éxito alcanzado al explicar el modo en que el automatismo de la Naturaleza material podría dar origen por sí solo a las distintas formas de vida puso en el aire profundas interrogantes. De acuerdo con Jonas (2000: 78), al desechar la idea de un principio creador diferente de lo creado, los materialistas no sólo alcanzaron la hegemonía sino que ahora cargaban con la exigencia de explicar el origen, no sólo de las estructuras físicas y biológicas, sino también del espíritu, la Razón, la mente y la libertad humanas... ¿Se cuentan

⁸⁹ Por supuesto, no todos estuvieron de acuerdo. El debate entre evolucionistas ateos y creacionistas, de hecho, sigue vigente en la actualidad. Musser —buen exponente del creacionismo científico contemporáneo— reclama que, hoy en día (en lo que algunos consideran un mundo post-cristiano) los cristianos son tachados de ignorantes y anticientíficos, desconociendo que la ciencia moderna surgió como ciencia cristiana. Actualmente se ha confinado a los religiosos a un mundo místico de pura fe desconectado de la realidad, planteando una ruptura absoluta entre teólogos y científicos como si no pudiera haber comunicación entre ambos, divorcio que ha resultado perjudicial para ambos bandos pues “ya nadie sabe realmente en qué cree ni por qué”.

En el mismo sentido, reclama que mientras muchos consideran la historia del Génesis como un mito, nadie considera la “fe ciega” necesaria para adoptar la visión evolucionista. Señala que para aceptar la doctrina de que no existe un Diseñador Inteligente uno debe aceptar “extraños absurdos filosóficos” como que de la nada surge el todo, que la no-vida produce la vida, que el azar produce el orden, que el caos produce información, que lo inconsciente da lugar a lo consciente y que la no-razón produce la razón. Confiar en que la mutación ciega y azarosa (que casi siempre conduce al caos, desorganización y muerte) puede suplantar a Dios como la prodigiosa fuente de la Vida constituye, para él, una forma de paganismo anticientífico. Una teoría científica —concluye— plagada de absurdos filosóficos no sirve de mucho, por más naturalistas o materialistas que sean los términos en que se exprese. (Musser 2009)

éstos también entre los “caprichos” aparecidos en el juego mecánico de las mutaciones? Y en ese caso, ¿qué lugar ocupa entonces el humano en el universo?

En opinión de Schaeffer, la conmoción más decisiva de la tesis de la excepción humana se debe precisamente a la biología de la evolución y las ciencias de lo viviente, en cuyo desarrollo resulta ciertamente crucial *El origen de las especies* de Charles Darwin. Sus contemporáneos fueron concientes de ello: “ya en 1868 Ernst Häckel sostuvo que, así como el desarrollo de la cosmología científica en el Renacimiento había puesto fin al *error geocéntrico*, la teoría evolucionista firmaba el acta de defunción del *error antropocéntrico*” (Schaeffer 2006: 51). La poderosa idea de *la unidad fundamental de la vida* implica reconocer que “ninguna forma viviente particular puede ser concebida independientemente de la esfera global de lo viviente, de la que no sólo es una encarnación específica, sino, de modo más fundamental, un eslabón causal” entre la evolución anterior y la venidera (Schaeffer 2006: 123).

Así, Schaeffer subraya que “si la hipótesis de Copérnico transformó la cuestión del *lugar de la Tierra en el universo*, la hipótesis darwiniana, por su parte, redefinió el problema de lo referente a *nuestro lugar en el mundo de lo viviente*⁹⁰. Pero, de hecho, hizo más que eso: más allá de nuestro lugar, redefinió el problema de nuestra identidad”. (Schaeffer 2006: 51) De acuerdo con el mismo autor, son cuatro las principales implicaciones de la teoría evolucionista sobre la idea de nuestra propia identidad. En primer lugar, el ser humano no aparece más como un ser que *tiene* un aspecto biológico (esto era aceptado incluso en la

⁹⁰ Con respecto a este punto, apegado a una visión como la de los primeros científicos cristianos, Musser sostiene que la teoría de Darwin finalmente destruye el fundamento de la ciencia misma. De acuerdo con él, considerar que el ser humano no es nada más que otro animal en el gran esquema de las cosas anularía la posibilidad de toda ciencia. Las otras especies animales, afirma, no son científicos, por lo que ponernos en la misma categoría implicaría asumirnos también como esclavos de la naturaleza. Los verdaderos científicos ejercen un dominio sobre la naturaleza, sin el cual la ciencia no puede existir. (Musser, 2009)

Para un panorama de los planteamientos contemporáneos que buscan armonizar la teoría evolucionista “dura” con un marco cosmológico cristiano, véase de Asúa (2009: VIII).

definición teológica clásica según la cual el hombre es un alma inmortal unida temporalmente a un cuerpo terrestre) sino que es un ser biológico. En segundo lugar, se produce una *historización* de la identidad humana reintegrándonos a la historia de la Vida sobre la Tierra. En tercer lugar, implica asumir una perspectiva *no esencialista*: aquello que podamos concebir como nuestra “identidad” en tanto especie no será más que la cristalización momentánea de un flujo constante y sin límites precisos, que de ninguna manera permite postular un abismo ontológico entre nuestra especie y “las demás”. Por último, tendría que asumirse una perspectiva *no finalista*: la génesis y el devenir de la humanidad no estarían guiadas por una teleología trascendente. (Schaeffer 2006: 52)

De esclavo a señor

Desde el siglo XVIII, distintos pensadores buscaron desarrollar el proyecto científico cartesiano-newtoniano de tal manera que sus principios permitieran comprender también la naturaleza humana y las dinámicas sociales. Cuando algunos de sus defensores proclamaron estar descubriendo las leyes de una “física social”, las nuevas “ciencias sociales” suscitaron un enorme entusiasmo; los defensores de una aproximación racional a los problemas humanos que tomaba como inspiración el modelo newtoniano se volvieron rápidamente muy populares entre las clases medias en lo que sería llamada la era de la Ilustración. (Capra 1987: 55)

En este contexto, el trabajo de John Locke fue muy importante. Como explica Capra, inspirado por la física newtoniana, Locke desarrolló una visión atomística de la sociedad centrando su atención en el “ladrillo básico” de la realidad social: el individuo. Así como los físicos reducían las propiedades de los gases al movimiento de los átomos, Locke se propuso reducir los fenómenos sociales al comportamiento de los individuos, cuyas acciones estarían siempre motivadas por lo que cada uno asumiera como su interés personal. Entre las leyes naturales que Locke postuló que gobernaban las dinámicas sociales estaba la libertad, la igualdad de los individuos (al momento del nacimiento) y el derecho a

la propiedad privada. Dichas ideas tuvieron una notable influencia en el desarrollo del pensamiento político y económico moderno. (Capra 1987: 55-56)

Posteriormente, la teoría de la evolución abriría nuevas posibilidades para tratar de integrar la esfera humana al cuadro general de la cosmología científica materialista, que seguía avanzando victoriosa —conquistando cada vez más ámbitos de la realidad— como la forma verdadera de describir el mundo. En una época en que la religiosidad occidental se encontraba en crisis, el modelo darwinista emergió triunfante. La visión de la Naturaleza como una permanente “lucha por la existencia” (tanto entre los individuos como entre las especies) constituyó un escenario muy atractivo para pensar la interacción competitiva entre los individuos, en donde la “supervivencia del más apto” (una forma muy popular de plantear la idea de la “selección natural”) fue rápidamente asumida como una ley natural fundamental para el entendimiento de lo humano, que pasaba ahora a considerarse como *parte* de la naturaleza.

No obstante, como vimos, se caracteriza al ser humano con base en la narración de un verdadero prodigio: si bien la evidencia ha demostrado que su linaje proviene de una especie animal más, la hominización se entiende como la *liberación* de las cadenas de “lo instintivo”, de “lo genético”, de aquello que *determina* la conducta de los animales, que no son más que esclavos de la Naturaleza. Se afirma que el ser humano ha escapado del dominio de lo natural (el de las *leyes* naturales, de *lo inmutable*) gracias a que ha adquirido la extraordinaria capacidad de gobernarse a sí mismo —a partir de la razón y la conciencia— creando sus propias normas y fundando un mundo propio. Y no sólo ha llegado a ser libre y autónomo, sino que además, ha sido mediante la ciencia y la cultura como ha adquirido ese cada vez mayor *dominio* sobre la Naturaleza. Nuestra historia se narra —imagen mítica en la cosmología moderna— como la de quien se libera de una condición de esclavo para convertirse en amo y señor.

Lucro y salvación

El desarrollo del capitalismo es un aspecto fundamental de los procesos de transformación que han constituido la modernización del mundo. Según el conocido análisis de Max Weber [1903], el “espíritu del capitalismo” — caracterizado por una búsqueda racional del lucro y la acumulación como objetivos de la actividad humana— habría surgido originalmente en el contexto sociocultural del protestantismo del siglo XVI, particularmente en las ideas calvinistas, en cuyo marco habría encontrado su primera forma de legitimación.

Según esta visión, todas las personas tienen el deber de trabajar por la construcción del reino de Dios en el mundo terrenal —mundo que está marcado por el pecado—, doctrina que dirigió las motivaciones religiosas al campo de las actividades mundanas. Si bien la ética protestante imponía el deber de llevar una vida ascética, en la visión calvinista, por decreto divino, algunas personas estarían predestinadas a la salvación eterna y algunas otras a la irremediable condenación. El éxito o fracaso individual que se obtuviera en dichas tareas —el cual podía medirse en función de las recompensas materiales que se obtuvieran en el ejercicio de la actividad profesional— era el signo por excelencia que permitía saber quiénes eran los elegidos de Dios. Así, el enriquecimiento personal y la acumulación —indicadores claros de una predestinación para la salvación— fueron equiparados con la virtud.

Esta interpretación providencial de la generación de ganancias no sólo justificaba esa “extraña conducta” caracterizada por la búsqueda del máximo lucro individual con el propósito de reinvertirlo, sino que impulsaba a las personas al trabajo duro como vía para superar la angustia en la que los mantenía la incertidumbre sobre su propia salvación. Además, este marco planteaba una explicación y legitimación de la desigualdad: el hecho de que algunas personas acumulen más que otras se entendería como resultado de factores individuales: una combinación del grado de autodisciplina, trabajo duro y carácter moral de cada persona con lo que la insondable voluntad divina decretara para ese individuo (un hombre sin el “llamado” [*the calling*] carecería del carácter metódico y sistemático que demanda una vida recta). Las disparidades en la distribución de

los recursos eran, pues, justas, necesarias y hasta inevitables, no sólo entre los individuos, sino entre las sociedades: las comunidades protestantes (entendidas como marcadamente individualistas y de orientación racional-pragmática) eran vistas como lógicamente propensas a ser ricas, mientras que las poblaciones no-protestantes (colectivistas) naturalmente tendían a ser pobres.

La explotación destructiva de la Naturaleza para obtener riquezas materiales era, pues, el cumplimiento de un mandato divino. La visión utilitaria de la Naturaleza planteada en el Génesis fue enfatizada por la Reforma Protestante y la Ilustración, lo que abrió la puerta para la Revolución Industrial y el capitalismo de libre mercado (Musser 2009b: 4). Paralelamente, para los protestantes que colonizaron América, despojar a los nativos de sus tierras estaba perfectamente justificado, siendo que estos no estaban utilizándolas correctamente para la gloria de Dios.

Así, se iría configurando lo que Donald Worster (citado en Castro 1994: 184) identifica como un *ethos* característico de las sociedades capitalistas. Según él, el capitalismo constituye “una compleja cultura económica” caracterizada por un “núcleo de valores y premisas” que trasciende la diversidad potencialmente infinita de sus formas de expresión en regiones y circunstancias específicas. Con respecto a las interacciones ecológicas, la “manera aprobada” con que dicha “cultura” utiliza la tierra puede describirse como “intensamente *maximizadora*” en cuanto a las ganancias que pueden extraerse. Worster señala que dicha actitud está basada en tres premisas fundamentales. En primer lugar, la naturaleza es vista como capital, es decir, como un conjunto de bienes que pueden convertirse en fuente de ganancias, un medio para producir mayor riqueza.

los árboles, la vida silvestre, los minerales, el agua y el suelo se constituyen todos en bienes que pueden ser desarrollados o llevados directamente al mercado. Una cultura mercantil no otorga más que estos valores a la naturaleza; en consecuencia, el mundo no humano es desacralizado y desmitificado. Sus interdependencias funcionales son también descontadas en el cálculo económico (Worster citado en Castro, 1994: 208)

En segundo lugar, el hombre tiene no sólo el derecho sino incluso una *obligación* de utilizar ese capital en función de su beneficio individual, “de modo que las mayores recompensas han de corresponder a quienes han realizado el mayor esfuerzo por extraer de la naturaleza todo lo que ella está en capacidad de ofrecer”. En tercer lugar, la apropiación y la acumulación privadas se constituyen en ideales *ilimitados*, “imposibles de satisfacer de una vez y para siempre”. (Castro 1994: 185)

Como señala Esteban Krotz, el desarrollo del capitalismo ha constituido un proceso de “relativo y aún absoluto empobrecimiento de amplios sectores de la población” en el que sobresale de forma todavía más impresionante “el ascenso de algunos individuos y su acumulación de riquezas fabulosas”, proceso que, no obstante, “ha sido considerado en un abrumador consenso como *progreso*”, progreso que llegó para algunos pero para la mayoría no es más que una promesa. (Krotz 2002: 67)

La Mano Invisible

Considerado pionero en la aproximación “científica” a la economía política, Adam Smith emprendió el proyecto de elucidar las “leyes naturales” que subyacen al comportamiento moral, político y económico del ser humano. De acuerdo con Edward W. Younkins (2002), Smith veía al mundo como una enorme máquina gobernada por leyes inmutables, leyes que obedecen al plan de Dios. Según tal visión, la naturaleza humana poseería —por diseño divino— un conjunto de inclinaciones *innatas* que serían el fundamento de los códigos morales (culturales, *aprendidos*), incluyendo tanto sentimientos (*sentiments*) egoístas como empáticos. Según Younkins, en su no tan conocido libro *Teoría de los sentimientos morales*, Smith afirmaba que la acumulación material no conduce a la felicidad, y se concentraba en el conjunto de valores que superaban el egoísmo. Sin embargo, en su más conocido libro *La riqueza de las naciones* aceptaba que la mayoría de los hombres no iban más allá del nivel de los sentimientos morales inferiores. No obstante, Smith sostiene que dichos sentimientos egoístas están ahí por un

motivo: la sociedad puede funcionar eficientemente como un mecanismo en el que las partes (los individuos) actúan cada uno en pos del beneficio individual, no es indispensable que los hombres sean totalmente virtuosos para que el sistema social funcione efectivamente. La intervención de la famosa *Mano Invisible* es precisamente la que permite que de la acción individual egoísta surja espontáneamente el beneficio colectivo entendido como una maximización del bienestar del grupo: la acumulación de riqueza. (Younkins 2002)

Según Capra, dicha visión de una sociedad competitiva funcionando por el bien colectivo parte de los siguientes supuestos: que existe una condición igualitaria en la que los participantes en los intercambios mercantiles son pequeños y no pueden controlar los precios; que cada participante tiene información perfecta para la adecuada toma (racional) de decisiones (en busca de la optimización individualista); y que las mercancías, los recursos naturales, la maquinaria y los trabajadores tienen una movilidad absoluta e instantánea; supuestos que son violados en la inmensa mayoría de los mercados realmente existentes. (Capra 1982: 208-209)

En la teoría del valor del trabajo —que afirma que el valor de un producto se deriva únicamente de la cantidad de trabajo *humano* requerida para producirlo (idea de William Petty que retomarían Adam Smith, David Ricardo, Karl Marx, etc.)— se trasluce una axiología antropocéntrica subyacente en la que la Naturaleza es entendida fundamentalmente como recurso por explotar para la acumulación de bienestar (planteamiento utilitarista). De acuerdo con Capra, el propio Smith previó que el progreso económico —entendido como *crecimiento continuo*— llegaría eventualmente a su fin cuando la acumulación de riqueza de las naciones alcanzara los límites naturales de la tierra y el clima, pero creyó que dicho punto era tan lejano en el futuro que era irrelevante para su teoría. (Capra 1982: 209)

La ley de la selva

De acuerdo con Weber, la historia religiosa de la humanidad comienza con un mundo poblado de elementos sagrados que poco a poco van desapareciendo en el proceso que él llama “el desencantamiento del mundo”.

La ciencia nos hace ver en la realidad externa únicamente fuerzas ciegas que podemos emplear a nuestro servicio, pero no puede sobrevivir ninguno de los mitos y divinidades que poblaban el universo, según el pensamiento primitivo. En este mundo en el que ya no hay encantamientos, las sociedades humanas evolucionan hacia una organización cada vez más racional y cada vez más burocrática. (Weber citado en Reale & Antiseri 1995: 426)

En este proceso, la utilización de la magia para controlar los fenómenos naturales o congraciarse con los espíritus (como hacen los “salvajes”) va siendo gradualmente suplantada por la Razón y la técnica. Según Weber, las ciencias naturales responden a la pregunta de cómo hacer para dominar técnicamente la Naturaleza, pero no se preguntan —ni mucho menos responden— cuál puede ser, en última instancia, el *sentido* o significado de dicha dominación en tanto proyecto para la humanidad. Tales preguntas sólo podrían ser respondidas por “un profeta o redentor”, personajes que en nuestro mundo desencantado habrían dejado de existir, y en el que “los falsos profetas que ocupan las cátedras” no logran remediar el hecho de que vivimos en una época sin Dios. (Reale & Antiseri 1995: 430)

El destino de nuestra época, con su racionalización e intelectualización características, y sobre todo con su desencantamiento del mundo, consiste en que precisamente los valores supremos y sublimes se hayan convertido en ajenos al gran público, para refugiarse en el reino extramundano de la vida mítica o en la fraternidad de las relaciones inmediatas y directas de los individuos (Weber en Reale & Antiseri 1995: 431)

En ausencia de Dios, el capitalismo pudo transitar hacia una justificación en términos naturalistas, retomando aquella visión de la naturaleza “roja de garra y diente” en donde la competencia individualista conduce al progreso evolutivo por obra de la selección natural. La naturaleza, pues, se caracterizaba por una competencia salvaje en la que había organismos más o menos “aptos”, más o menos “evolucionados”.

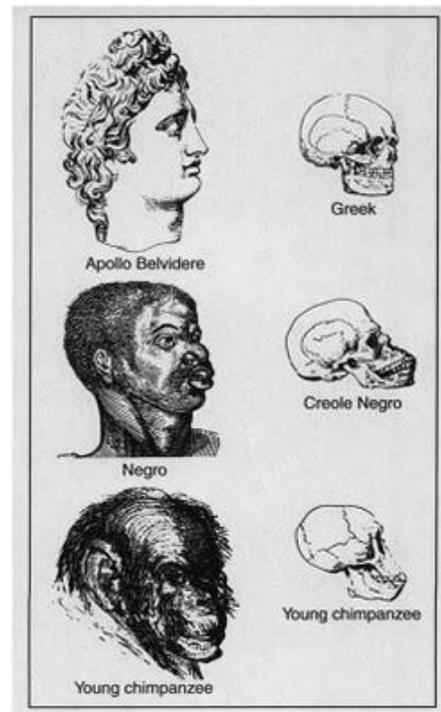
Como señala Louis Andrews (2003) Spencer afirmaba, en efecto, que el ser humano es físicamente un animal, por lo que las leyes naturales de la nueva biología aplicaban cabalmente. Él veía a la sociedad misma como una especie de “organismo”, siendo muchas facetas del desarrollo humano —entre ellas la cultura misma— productos de la evolución. El pensamiento de Spencer tiene una orientación marcadamente individualista y liberal, siendo un entusiasta defensor de la economía del libre mercado, ponía un marcado énfasis en el racionalismo, afirmando que las acciones humanas estaban basadas principalmente en el interés individual. Era también un optimista del progreso humano (en el sentido ateo moderno), diciendo por ejemplo que

inconcebibles como han sido los horrores causados por el antagonismo universal que, comenzando con las hostilidades crónicas de pequeñas hordas hace decenas de miles de años, ha desembocado en las ocasionales batallas entre inmensas naciones, no obstante debemos admitir que sin ellos el mundo seguiría aún siendo habitado únicamente por hombres de carácter débil refugiándose en cuevas y sobreviviendo con una alimentación silvestre. (Spencer en Andrews 2003: 47; traducción mía)

Siguiendo el recuento de Andrews, el darwinismo social se desarrolló posteriormente hacia formas más colectivistas. Walter Bagehot afirmaba que, en la lucha por la existencia, aquellos individuos capaces de trabajar de manera conjunta y sostener un grupo fuerte y unificado son los que sobrevivirían. Así, la principal competencia es la que se da entre grupos, perspectiva desde la cual se explicaba por qué las naciones más fuertes prevalecen por encima de las demás,

en un mundo en el que cada nación se enfrenta a las demás en una lucha sangrienta supuestamente darwiniana. (Andrews 2003: 48)

Las ideas humanistas que promovían un respeto para todos los seres humanos tenían, en aquellos tiempos, una cláusula en letras pequeñas que parecía advertir que los seres plenamente humanos son los habitantes de Occidente, considerando a los demás pueblos como salvajes o primitivos. “Lucien Lévy-Bruhl, por ejemplo, consideraba que los primitivos eran seres infantiles y místicos, prisioneros del pensamiento mágico” (Morin 2006: 49). Así, siendo de alguna forma subhumanos, más cercanos a la Naturaleza que a la Civilización, los otros pueblos eran igualmente instrumentalizables.



El Imperio de la ley natural

Como muestra el mismo Andrews (2003: 50), en 1896, un periódico inglés publicaba un artículo titulado “Una visión Biológica de nuestra Política Exterior”. El autor describía las relaciones internacionales desde una perspectiva neodarwiniana, explicando que “las grandes naciones del mundo son variedades locales, *especies en formación*, que tienden a la integración, enfatizando sus caracteres nacionales e inconscientemente avanzando hacia una distintividad específica [*unconsciously making for specific distinctness*]” (traducción y énfasis míos), con lo que la política exterior es un asunto de

la anticipación de, y la previsión para, luchas por la existencia entre *especies incipientes* [...] las razas débiles están siendo eliminadas de la Tierra y las pocas grandes especies incipientes están ellas mismas unas contra las otras. Inglaterra, como la más grande entre estas —la más

grande en su orgullo racial [*greatest in race pride*]— ha evitado por siglos el único tipo nocivo de guerra⁹¹. Ahora, con la totalidad de la Tierra ocupada y los movimientos de expansión avanzando, ella tendrá que pelear a muerte contra sucesivos rivales. (citado en Andrews 2003: 50; traducción y énfasis míos)

Así, ahí donde otros imperios se entendieron bajo la figura del “pueblo elegido” de Dios⁹², unido por la misma fe y cuyo destino formaba parte del Plan Divino, el Imperio Británico de la era victoriana y eduardiana encontró representaciones en términos biologicistas (de raza o “especie en formación”) y su dominio sobre los demás pudo plantearse en un marco cosmológico moderno, materialista y no teleológico, con base en la idea de una “efectividad” particular en la lucha natural por la existencia.

Autores como Benjamin Kidd (quien sostenía que una cualidad *innata* de disciplina era lo que conducía a la *eficiencia* que había llevado a Inglaterra a ser un poderoso imperio) trataron de articular visiones que permitieran utilizar la teoría evolutiva para indicar el camino por el que la sociedad inglesa debería desarrollarse, procurando potenciar la habilidad de Inglaterra para enfrentar los desafíos externos y mantener su posición en el mundo. (Andrews 2003: 49)

Y en efecto, la Inglaterra de finales del siglo XIX se encontraba en un momento de pleno auge imperial. Como señala Guillermo Castro Herrera, con el poderosísimo impulso de la naciente Revolución Industrial, el Imperio Británico superaba no sólo las “pasadas hazañas” de Ámsterdam sino las de todos los desarrollos civilizatorios precedentes. Este desarrollo se inscribe dentro de aquel

⁹¹ Desde la lógica de las formas colectivistas de darwinismo social de aquella época, se consideraba que la lucha por la existencia se daba entre naciones o entre razas por lo que la unidad del Estado era una prioridad fundamental, lo que implicaba evitar la competencia interna al grupo. Esto condujo, en determinado momento, a un distanciamiento de las políticas liberales hacia un nacionalismo más autoritario.

⁹² La idea de que los ingleses son el pueblo elegido de Dios puede encontrarse al menos desde el siglo XIV, idea que ha persistido en parte del pensamiento británico. La idea de un “Imperio Protestante” sería después central también en la construcción de los Estados Unidos de América. (véase Newsom 2001)

amplio proceso a través del cual la economía-mundo europea se iba transformando en economía mundial, proceso que según Braudel inaugura la civilización contemporánea marcando también los inicios del colonialismo en el sentido moderno del término. (Castro 1994: 149)

El avance de la sociedad máquina

De acuerdo con Esteban Krotz (2002: 57), “las civilizaciones organizadas como estados parecen ceder, de manera casi obligada ante ciertas circunstancias, al impulso de una expansión territorial absoluta” que persigue una combinación de intereses territoriales, demográficos, económicos, religiosos y militares, conduciendo a la incorporación, más o menos violenta, de otros grupos humanos. Los imperios así surgidos, continúa el autor, “institucionalizan un contacto entre culturas que es, sin embargo, asimétrico por principio”, lo que se traduce en confrontaciones socioculturales y una “continua opresión de tradiciones económicas, políticas o de cosmovisión”. El mismo Krotz señala que

En el siglo XIX sucedió por primera vez que un tipo determinado de sociedad humana, la sociedad industrial europea, se extendiera en pocas generaciones por todo el planeta. Ésta entró en una relación directa, casi siempre forzada, con todos los demás pueblos y, en este marco, puso en contacto a muchas sociedades no europeas que no habían tenido que ver antes entre ellas. (2002: 55-56)

Y más adelante añade:

El establecimiento y la consolidación de este prolongado contacto entre culturas, que abarcó el mundo entero y que se llevó a cabo bajo un signo imperialista, naturalmente sólo se debe entender como un aspecto parcial de esa revolución civilizatoria que, por lo regular, se conoce como *revolución industrial*. (2002: 62)

Analizando las implicaciones que dicha revolución supone en cuanto a las relaciones entre la sociedad moderna europea y “los otros”, Krotz (2002: 62 y ss.) identifica cuatro aspectos (entrelazados) que es necesario considerar:

En primer lugar, y de manera general, la revolución industrial constituye “la fijación definitiva de una determinada relación entre la sociedad y la naturaleza, es decir, una forma nueva y específica de *apropiación social de la naturaleza*”. Ésta se caracterizó por la progresiva explotación de una nueva fuente de energía —los combustibles fósiles— así como por la transformación general de la fuerza de trabajo humana en una mercancía. Así, la naturaleza y la fuerza humana se convirtieron así, de una forma desconocida hasta entonces,

en una materia prima que podía ser utilizada, dominada y explotada sin consideraciones; desde ese momento, su valor era determinado por su posición en el proceso de acumulación del capital. Este proceso fue acompañado por los fenómenos —por él ocasionados— de la extracción minera de hierro y carbón, la organización fabril de la producción, el vertiginoso crecimiento de la población, los movimientos migratorios que rebasaban las fronteras de regiones, países y continentes, la urbanización y su transformación de la estructura familiar, del transcurso de los días y las semanas y de la división —válida durante siglos— espacial y temporal del trabajo y la vida cotidiana, el surgimiento de dimensiones completamente nuevas de las relaciones de mercado y la circulación de las primeras mercancías de consumo masivo, la transformación de paisajes y de la vida humana por la construcción de canales y puertos, de estaciones ferroviarias y líneas telegráficas, después por el inicio de la sustitución de materiales naturales por sintéticos, por la iluminación nocturna de las calles, por la electricidad, el teléfono, los explosivos, etcétera. (Krotz 2002: 63)

Krotz llama la atención sobre un aspecto fundamental de este proceso que por largo tiempo pasó relativamente inadvertido: “la relación entre una apropiación destructiva de la naturaleza y la depauperación de una gran parte de la humanidad”. Dicha inadvertencia se explica porque, entre otras cosas, la

revolución industrial se ha concebido erróneamente como un acontecimiento *européico*. “[P]oco a poco fue quedando claro que, desde el principio [...] y hasta el día de hoy, la creciente riqueza de los países industrializados ha implicado el empobrecimiento y la miseria de la mayor parte de los pueblos del Tercer Mundo”. (2002: 63n)

Un segundo aspecto que —siguiendo el análisis del mismo autor— debe considerarse sobre el mencionado proceso, tiene que ver con los múltiples cambios ocurridos en el ámbito de las *relaciones sociales*. Además de las transformaciones implicadas por el proceso de producción de mercancías sobre la estructura social (particularmente a nivel familiar) o por la acelerada urbanización, surgieron instituciones sociales totalmente nuevas como el cuerpo de funcionarios, la escuela y el servicio militar obligatorio; surgieron nuevos grupos de profesionales y se crearon nuevas formas de organización. Estos elementos forman parte del amplio proceso de consolidación del Estado nacional burgués que sustituyó a las sociedades monárquicas, asegurando el dominio de las burguesías urbanas, con la creciente oposición del proletariado industrial que poco a poco se comenzó a concebir y organizar como tal.

Este proceso implicaba la sustitución del principio de legitimación dinástica —anclado fuertemente en la religión— del orden sociopolítico por el de la nación, es decir, por la ficción de un pueblo biológica, lingüística, territorial, histórica y culturalmente identificable, que determina por sí mismo, libre e independientemente, sus instituciones y su destino. (Krotz 2002: 64)

Como tercer aspecto —íntimamente relacionado con el anterior— se debe analizar la *repartición colonial del mundo* entre las potencias europeas que competían unas con otras en todos los aspectos, entre los que destaca “el acceso efectivo a materias primas y mercados conocidos y de la garantía de acceso exclusivo a los a veces sólo sospechados”. Los territorios fueron aprovechados de un modo cada vez más abusivo, según “formas de explotación orientadas únicamente a satisfacer las necesidades de las mal llamadas ‘madres patria’”, en una carrera en la que la expansión solía considerarse “simultáneamente como garantía y como

demostración de la importancia histórica y del gran porvenir de una nación”. (Krotz 2002: 65)

“Este aseguramiento de los intereses nacionales y del prestigio nacional estaba relacionado con el convencimiento, muy popular, de tener que cumplir como nación un cometido civilizador en todo el mundo”. Esto conduce al cuarto y último aspecto enlistado por Krotz: *la hegemonización de las llamadas ciencias positivas o empíricas* como portadoras del conocimiento verdadero e indudable (Krotz 2002: 66). La visión del mundo como una realidad

inmanentemente explicable y manipulable más allá de cualquier consideración ética y con ya sólo algunos pocos secretos por develar, rápidamente condujo a una confrontación llena de tensión con las afirmaciones, hasta entonces indiscutidas, de los filósofos y los teólogos y sus instituciones. Sin embargo, su marcha triunfal ya no podía ser detenida, pues representaba, en cierta forma, la coronación de ese esfuerzo emprendido por varias generaciones y que comúnmente se conoce como el empirismo y el racionalismo de la modernidad. (Krotz 2002: 66)

De manera paralela al modo en que “la civilización europea pretendía expandirse por todo el mundo, la ciencia positiva intentaba penetrar en todos los ámbitos de la realidad y el conocimiento”. El avance de la ciencia se convirtió en el paradigma del progreso, así como en una incontestable demostración de la veracidad de la nueva comprensión de la realidad, lo que parecía evidenciar también la superioridad intrínseca del modo de pensar y la forma de vivir de sus portadores. (Krotz 2002: 67)

Así se explica lo dicho por Andrews (2003: 48) con respecto a que, debido al creciente contacto con “otras razas” (*alien races*), el “orgullo racial” británico crecía rápidamente. Como señalan Alberto Betancourt, Efraín Cruz y Jessica Arellano (2010: 11), “el colonialismo requiere de una hegemonía cultural capaz de establecer relaciones de poder y dominación respecto otras formas de conocimiento, lo cual conduce, en muchas ocasiones, a construir una visión destinada a infantilizar el conocimiento indígena”. En este mismo sentido, los

autores retoman el trabajo de Habib Irfán “quien ha planteado que los imperios europeos, y particularmente el británico, esparcieron la ciencia occidental casi con el mismo celo que [en otros tiempos] la religión católica”, desacreditando a su paso el conocimiento desarrollado por otros grupos humanos.

Imponer la civilización, un deber moral

De acuerdo con Donald Worster, en la era victoriana tardía, entre 1860 y finales de siglo, “pareció producirse una determinación especialmente feroz de que el proceso civilizatorio se desplegara de manera firme y correcta, de una vez por todas. Nunca antes había parecido tan importante lograr esta exigencia de los tiempos” (citado en Castro 1994: 197). Como puede verse, dicho proceso civilizatorio —retomando el planteamiento de Morin— implicó una intensificación sin precedentes de la barbarie de la conquista y la dominación.

El mantenimiento de la dominación militar imperial se planteaba como algo más allá del interés propio: en realidad, se trataría de una alta y sagrada obligación moral. Según Andrews (2003: 50), en 1897 se publicó un artículo de W. F. Wyatt titulado “La ética del imperio”, ética basada en el la premisa de que el fundamento del imperio son las “leyes biológicas” del darwinismo



social. En dicho artículo, Wyatt argumenta contra los humanistas, quienes consideraban inmoral la dominación militar. Estos últimos —según el mismo Wyatt— argumentaban que si bien puede ser que las brutales leyes que los militaristas darwinianos de hecho prevalezcan en el mundo humano como lo hacen en el reino animal y vegetal, el desarrollo moral de Occidente habría

alcanzado una moral aún más alta, con lo que el altruismo como principio debería reemplazar a la competición. Ante ello, Wyatt replicó que si Inglaterra llegara a adoptar una política humanitaria, abrazando el altruismo y retirándose de la competencia internacional, entonces simplemente otro poder tomaría su lugar, se volvería más fuerte hasta controlar eventualmente la situación mundial. Inglaterra —según el mismo autor— dejaría de operar como un agente influyente sobre los asuntos humanos. Todas las grandiosas ideas e instituciones desarrolladas y difundidas por Inglaterra a muchas partes del mundo, se perderían. Impedir esto era, pues, su obligación moral, un acto verdaderamente humanitario. Al oponerse a esta idea, los críticos “humanistas” fomentaban la división interna con lo que estaban debilitando a la nación y actuando, finalmente, en contra del Imperio, obstruyendo el cumplimiento del alto deber de establecer un orden moral sobre la naturaleza salvaje y las prácticas retrógradas de los incivilizados.

Retomando a Woster, Castro señala que este tipo de “deber civilizatorio” se basaba en la visión de que existía una brecha gigantesca entre las sociedades civilizadas y el resto —quienes eran entonces entendidos como bárbaros o salvajes—, como si se tratara de mundos totalmente diferentes, separados por una distancia virtualmente insuperable. Según Worster, En Londres, Edimburgo, Nueva York o Chicago “apenas se dudaba [...] de que la civilización era el estado más noble —infinita, incomparablemente mejor en prácticamente todos los aspectos de la vida—, y de que la barbarie era una ofensa que debía ser aplastada dondequiera que se le encontrase” (citado en Castro 1994: 210).

Sin embargo, como señala Castro, esta actitud general no era monolítica: retomando nuevamente el trabajo de Worster, señala que en el seno de aquel sistema victoriano de valores existían al menos tres formas de plantear la relación con la naturaleza y el mundo de las sociedades no occidentales. La primera, en efecto, planteaba la necesidad de una política de conquista “no sólo para imponer la ley del progreso sino, además, para permitir el despliegue de la ‘lucha competitiva por la existencia’”, partiendo del principio de que “la fuerza hace el derecho” (Castro 1994: 197). Desde esta perspectiva, se asumía que la “ley de la competencia” (aplicable tanto para las relaciones hombre-naturaleza como entre

sociedades) era “el único cimiento sobre el cual podía construirse una civilización tecnológica avanzada” (Castro 1994: 210), utilizando argumentos como el siguiente:

la economía de la naturaleza constituye un mundo de mutuas agresiones; tal sistema ha producido un notable progreso a través de la evolución; por tanto, debe funcionar también para la economía humana, puesto que el hombre es parte de la naturaleza; el creciente dominio tecnológico del hombre sobre la naturaleza es prueba de la supervivencia del más apto, y de la realidad del progreso en el esquema de las cosas. (Worster 1987, en Castro 1994: 210)

Una segunda postura rechazaba defender abiertamente el proyecto civilizatorio británico como el dominio del más fuerte, planteando en cambio que se trataba de “la administración racional y necesaria de la naturaleza”, proyecto entendido como la meta del proceso histórico en el que la humanidad avanzaba por “un largo ascenso desde el caos y el desorden hacia el perfecto control administrativo” (Castro 1994: 198). En el caso de las colonias, esto significaba avanzar hacia un ordenamiento territorial que permitiera la máxima extracción de recursos.

Como apunta Castro, el principal exponente de esta postura fue el sociólogo norteamericano Lester Ward, quien sostenía que tanto la naturaleza como las sociedades necesitaban ser administradas racionalmente por expertos, de modo que pudieran ser “redimidas de su estado primitivo”. Ward creía que cualquier buen ingeniero “podría hacer un mejor trabajo de diseño del medio ambiente que el realizado por la naturaleza”, afirmación en la que Castro identifica el mismo tipo de entusiasmo tecnológico que se exponía notablemente en la literatura de Julio Verne, quien muchas veces exaltaba al ingeniero como verdadero artífice del progreso y hechicero de la modernidad. (Castro 1994: 210-211)

La tercera postura, de fuerte raíz teológica y considerable refinamiento intelectual, defendía a la civilización como “un necesario control moral sobre la naturaleza” (Castro 1994: 198). Entendiendo la naturaleza como “mundo caído”

(una forma degenerada de la naturaleza original: la del Paraíso de los primeros tiempos de la Creación), entonces el deber sagrado del hombre civilizado era separarse de la bajeza de esa esfera. (Castro 1994: 211)

Contrapuestas a estas diversas formas de *ethos* imperial, en las sociedades noratlánticas también existían visiones “paganas” de corte arcádico⁹³ que planteaban la necesidad de restaurar una coexistencia pacífica entre los humanos y otros organismos, defendiendo el ideal de una vida más humilde y sencilla. En aquellas sociedades, esta postura arcádica expresaba la visión de la naturaleza correspondiente a sectores intelectuales de capas medias que ya por entonces emergían y se consolidaban en el mismo proceso de desarrollo capitalista que consolidaba la hegemonía de los sectores empresariales en sus propios países. (Castro 1994: 198)

La reacción romántica

A finales del siglo XVIII e inicios del XIX se desarrolló un movimiento artístico, cultural, filosófico, espiritual —el romanticismo— que, proviniendo sobre todo del ánimo y sentir germánicos, se expandiría por toda Europa reaccionando contra la Ilustración.

Como explica Sabine Wilke, en dicho contexto, pensadores como Friedrich Schelling o Arthur Schopenhauer criticaron a las ciencias empíricas por tratar a la Naturaleza como un mero objeto entablando con ella una relación de dominación y subyugación (2008: 11). Schopenhauer sostenía que el mundo natural no puede reducirse a simple materia en movimiento ni a un juego entre fuerzas químicas (2008 13-14). Como contraparte, se exploraron planteamientos que trataban de concebir a la Naturaleza no únicamente como un *objeto pasivo* sino considerando *también* su carácter de *sujeto activo* (2008 2-3).

⁹³ Woster menciona como autor representativo de la tendencia arcádica a Gilbert White (1720-1793), un párroco rural y naturalista inglés que tuvo cierta influencia en el moderno estudio de la ecología. Para la tendencia “imperial”, menciona en particular el trabajo de Linneo —la figura más importante del período— y de los linneanos en general (citado en Castro 1994: 211)

Apartándose decididamente de la visión de la naturaleza-máquina, los filósofos románticos redescubrieron y defendieron una concepción exaltada de la Naturaleza como un organismo vivo. De acuerdo con Schelling, la Naturaleza universal debería entenderse como una totalidad viviente y cada individuo en el mundo (incluido el ser humano) no sería sino una expresión de esta totalidad (Wilke 2008: 9). Según el mismo Schelling, la Naturaleza como un todo debería concebirse como un todo que se produce a sí mismo, como la fuente omnipresente creadora de la vida, asumiendo que existe una identidad entre producto y productividad (Wilke 2008: 7). Pensadores como Spinoza y Schelling buscaban superar la idea de una Naturaleza como mero *productio* —*natura naturata*— para pensarla en términos de *voluntad productora* —*natura naturans*—. Schopenhauer concebía al mundo como *voluntad* en el que, no obstante, no había teleología ni sentido, una totalidad integrada que se ubicaba más allá del bien y del mal (Wilke 2008: 15). Además, siendo que la Naturaleza producía la subjetividad que le permitía entenderse a sí misma, la propia Naturaleza podía concebirse como una especie de supra-sujeto cognoscente (Wilke 2008: 12).

Con lo anterior, no sólo se abandonaba el planteamiento dicotómico del dualismo ontológico cartesiano (que separaba entre *res cogitans* y *res extensa*) transitando hacia un monismo como el que defendería Baruch Spinoza, sino que también se distanciaban de la cosmología teísta judeocristiana de la divinidad como Intellecto o Razón suprema entendida como *externa* al mundo (divinidad como causa trascendente) en un movimiento de regreso hacia planteamientos panteístas (divinidad como causa inmanente), donde la fuerza de la Naturaleza era la fuerza misma de lo divino.

De esta forma, la religiosidad romántica tomaba un sendero “paganizante”, en ocasiones planteándose directamente en confrontación con la cosmovisión judeocristiana. En contraste con la visión de un mundo natural *caído* del Paraíso (caracterizado por la degeneración y el pecado), Schopenhauer (entre otros) defendía una visión idealizada de la Naturaleza salvaje como un oasis libre de las patologías de la civilización (Wilke 2008: 13).

De acuerdo con Musser, los románticos alemanes lamentaban la exfoliación del paisaje forestal y la vulneración del hábitat de las formas de vida silvestre que se estaba produciendo con el avance de la Revolución Industrial, la proliferación de las ciudades y de los mercados comerciales internacionales. Al respecto, Musser cita a Schopenhauer en un pasaje donde señala que el problema radicaba en la visión judeocristiana de que los animales y el mundo natural fueron manufacturados expresamente para el consumo humano, lo que se desprendía del Génesis y su mandato de poblar y dominar la Naturaleza (Musser 2009b: 3-4).

Autores como Alexander Humboldt planteaban una visión holística e integradora en la que el ser humano y su cultura formaban parte integral del paisaje natural. Humboldt sostenía un tipo de determinismo ambiental según el cual el carácter de los pueblos es moldeado por el medio ambiente particular en el que se desarrollan, planteándolas bases sobre las que se desarrollaría la visión del *volk* (la comunidad, el pueblo) romántica y holísticamente integrado en el paisaje germano. Desde este tipo de visiones se plantearían ideales de una vida de interacción armónica entre los seres humanos, las plantas y los animales silvestres. (Musser 2009b: 2)

La crítica marxista

El siglo XIX también vio aparecer al mayor crítico del capitalismo que hubiera visto el mundo, Karl Marx. De origen alemán y judío, fue un agudo observador de las profundas transformaciones implicadas en la transición del feudalismo al capitalismo, de las condiciones sociales en las que se producía la Revolución Industrial y del sendero que marcaba para el mundo el desarrollo de la modernidad capitalista.

Criticó a los economistas clásicos porque sus teorías partían de un conjunto de dogmas que justificaban la estructura de clases existente como si se tratara del resultado de “leyes naturales”, dando por sentada la noción de propiedad privada y el interés del capitalista como principios de la economía, dejando de lado el problema ético de la distribución de la riqueza y afirmando que los pobres son responsables de su propio infortunio.

En su conocido análisis económico —que marcaría definitivamente el pensamiento crítico y la praxis revolucionaria de los siglos siguientes—, puso de manifiesto que en el esquema de producción capitalista, la burguesía (la clase propietaria de los medios de producción) se enriquece apropiándose del resultado del trabajo (la plusvalía) del proletariado (la clase desposeída, que se ve en necesidad de vender su fuerza de trabajo). Por lo tanto, en dicho sistema, el dinero produce cada vez más dinero para el capitalista, mientras que la alienación del trabajo hace que el obrero se vuelva cada vez más pobre en el mismo proceso en el que él produce riqueza.

Como quedó plasmado en el primer volumen de *El capital* [1867], Marx vio que la dinámica propia del desarrollo del capitalismo conducía a una creciente centralización del capital, en donde un número cada vez menor de magnates acumularía cantidades cada vez mayores de riqueza acaparando y monopolizando los beneficios de dicho proceso, al tiempo que crecería la masa en la miseria, la opresión, la servidumbre, la degradación y la explotación.

Desde una innovadora aproximación basada en el *materialismo dialéctico*, destacó el papel de la *lucha de clases* como motor de la Historia, proceso en el que los cambios en el *modo de producción* (la forma en que una sociedad produce los bienes necesarios para su existencia) podía implicar una verdadera revolución tanto de la estructura social como de las ideas, las representaciones y la conciencia de una sociedad. Ese había sido el caso de la transición del medioevo a la era moderna, cuando se rompieron las relaciones feudales y la naciente burguesía se consolidó como clase dominante.

En la visión de Marx, el mismo proceso dialéctico conduciría necesariamente a la superación del capitalismo. Siendo que la burguesía existe en la medida en que existe la clase proletaria, su avance como clase implica el desarrollo de la clase antagónica: en la medida en que crezca la masa desposeída también crecerá la rebelión entre una clase obrera que Marx preveía como cada vez más numerosa, organizada y consciente de su propia fuerza. El desarrollo del capitalismo produciría, así, a sus propios enterradores; su ocaso sería inevitable como resolución de una inherente contradicción dialéctica.

De acuerdo con John B. Foster, para Marx —como para muchos pensadores de la época— el punto de partida de la Historia no era Dios sino la Naturaleza, sobre la cual él adoptaba una visión materialista que enfatizaba la evolución y la emergencia. Marx y Engels estudiaron intensamente el trabajo de Darwin, celebrando la teoría de la evolución como “la muerte de la teleología” y asumiéndola como la “base”, en ciencias naturales, de su propia perspectiva teórica (Foster 2002: 8). Desarrollando también una visión de integración del fenómeno humano en el marco de lo natural, en *La ideología alemana* Marx decía:

Conocemos sólo una ciencia, la ciencia de la historia. Se puede enfocar la historia desde dos ángulos, se puede dividirla en historia de la Naturaleza e historia de los hombres. Sin embargo las dos son inseparables: mientras existan los hombres, la historia de la Naturaleza y la historia de los hombres se condicionan mutuamente. (citado en Aguirre 1986: 12)

La vida humana, pues, sería inconcebible separada de la Naturaleza:

Que “el hombre vive en la Naturaleza” significa que la Naturaleza es su cuerpo, con la que necesita mantenerse en continua interacción [*intercourse*] si es que ha de vivir. Que la vida física y espiritual del hombre está ligada a la Naturaleza significa simplemente que la Naturaleza está vinculada consigo misma, pues el hombre es parte de la Naturaleza. (citado en Capra 1982: 217; traducción mía)

En la idea de una “Naturaleza vinculada consigo misma” parece resonar un eco romántico aunque, por otro lado, el enfoque materialista predominante en el análisis marxista plantea una visión utilitarista-antropocéntrica de la Naturaleza.

Marx realiza su estudio de la economía humana desde una perspectiva evolucionista, partiendo de que el «trabajo» —el sustento de la vida humana, base de todo sistema económico— es el proceso de “intercambio metabólico” (transformaciones de materia-energía) entre el ser humano y la Naturaleza, condición permanente y universal de nuestra existencia. La Naturaleza es indispensable para satisfacer las necesidades vitales pues “el trabajador no puede crear nada sin la Naturaleza [...] ésta es el material sobre el cual su trabajo se

manifiesta, sobre el cual es activo, a partir del cual y por medio del cual produce” (citado en Capra 1982: 216; traducción mía).

El trabajo, para Marx, consiste en la *humanización* de la Naturaleza y, al mismo tiempo, es lo que nos humaniza a nosotros mismos: cuando el trabajo va de acuerdo con las necesidades, los objetivos y proyectos de quien lo realiza, es cuando se es verdaderamente humano (condición que puede ser anulada mediante la alienación del trabajo). Marx señala que esto marca una diferencia con respecto a los animales:

la araña lleva a cabo operaciones semejantes a las del tejedor, y la abeja avergüenza a muchos arquitectos con la construcción de sus celdillas de cera. Pero lo que desde un principio distingue al peor arquitecto de la mejor abeja es el hecho de que aquel construyó la celdilla en su cabeza antes de construirla en cera. Al final del proceso del trabajo, surge un resultado que ya se hallaba presente al principio en la idea del trabajador, que estaba presente idealmente. No se trata de que se limite a efectuar un cambio de forma en el elemento natural. (citado en Reale & Antiseri 1995: 183)

La idea de continuidad entre los seres sugerida por el evolucionismo (y también por la filosofía epicúrea, que Marx estudió y asimiló) coexiste con cierta forma de la tesis de la excepción humana. Marx y Engels participaron activamente en el debate de aquella época sobre la evolución de la raza humana (lo que implica cierta visión gradualista y de mutabilidad) a la vez que distinguían entre la “forma *instintiva* de trabajo” de los animales y la forma propiamente humana. Reconocían cierto uso de herramientas por animales a la vez que consideraban la maquinaria humana como “un triunfo del hombre sobre las fuerzas de la Naturaleza”. Retomaban sobre todo la visión de la “lucha por la existencia” darwiniana con la idea de progreso a través de los antagonismos, aunque también reconocían que “las relaciones de interdependencia entre los organismos naturales —vivos y muertos— no implican solamente colisión, sino también armonía, no sólo lucha, sino también cooperación”. Como observa Foster (2002: 7), consideraban que la

relación entre el ser humano y la Naturaleza tiene tanto un aspecto de integración como otro de lucha.

Y aunque no constituye el elemento central de su argumentación, la demoledora crítica marxista contra el sistema capitalista también incluye elementos de análisis ecológico. Partiendo de que el modo de producción de una sociedad —la forma en que se organiza y desarrolla el trabajo— implica tanto un sistema de relaciones sociales como el proceso de intercambio metabólico con la Naturaleza, la alienación del trabajo característica del capitalismo implica tanto una degradación de la calidad humana y una creciente descomposición social, como un “desajuste metabólico” (*metabolic rift*) y una progresiva degradación natural. Se explota el trabajo humano para explotar la Naturaleza, con el objetivo último de acumular riqueza.

En este punto, el trabajo del destacado químico alemán Justus von Liebig constituyó un aporte crucial para la reflexión de Marx plasmada en *El Capital*. Como narra Foster (2002), en una carta a Engels de 1866 Marx explicaba que Liebig había desarrollado, desde el punto de vista de las ciencias naturales, la descripción del carácter destructivo de la agricultura moderna. Por su crítica a la política imperial británica Liebig fue censurado, pero, en opinión de Marx, su aporte al estudio del capitalismo “era más importante que el de todos los economistas juntos”. (Foster 2002)

Según el análisis de Liebig, la agricultura capitalista industrializada británica era básicamente una forma imperialista de saqueo. La acelerada urbanización en la Inglaterra de la época implicaba un creciente antagonismo entre el campo y la ciudad. Conforme creció la demanda alimentaria de las ciudades, se desarrollaron técnicas más intensivas de agricultura utilizando diversos tipos de tecnología, entre las que destacó el tractor. Los pequeños productores fueron gradualmente desplazados por grandes propietarios que podían invertir en insumos para intensificar la producción. A lo anterior se sumaba el hecho de que, siendo que los productos agrícolas del campo ahora se transportaban grandes distancias hasta las urbes consumidoras, se producía un flujo unidireccional de nutrientes del campo a la ciudad sin que se produjera un intercambio recíproco

que permitiera la recirculación de los mismos. Se interrumpían los ciclos locales del nitrógeno, fósforo o potasio (entre otros) con lo que, al tiempo que la tierra cultivable iba quedando infértil, la acumulación química en los desechos urbanos no sólo se desperdiciaba sino que se convertía en una forma importante de contaminación.

Ante la progresiva pérdida de fertilidad de los suelos, la importación de nutrientes se hizo de zonas cada vez más lejanas —por ejemplo la creciente extracción de restos óseos de los suelos europeos o la masiva importación de guano (excremento de aves o murciélagos) desde Perú— para sustentar la agricultura británica. Las tecnologías de transporte de larga distancia permitieron que el “desajuste metabólico” se profundizara y extendiera hasta tener un alcance mundial. La importación de guano creció de 1,700 toneladas en 1841 a 220,000 seis años más tarde. “En los últimos diez años —escribía Liebig— los barcos británicos y estadounidenses han escudriñado los mares y no hay una pequeña isla ni costa que haya escapado a sus navegaciones en busca de guano”, por lo que los yacimientos naturales se agotaron. (Foster 2002)

Países enteros estaban perdiendo la fertilidad de sus suelos, saqueados como parte de una amplia política imperial británica de apropiación de nutrientes. Según Liebig:

[Great Britain] deprives all countries of the conditions of their fertility [...] Like a vampire it hangs on the breast of Europe, and even the world, sucking its lifeblood without any real necessity or permanent gain for itself. (Liebig en Foster 2002)

Esto fue lo que llevó a Marx a afirmar en *El capital* que, en el régimen capitalista de producción:

Al crecer de un modo incesante el predominio de la población urbana aglutinada en grandes centros, la producción capitalista acumula, de una parte, la fuerza histórica motriz de la sociedad, mientras que de otra parte perturba el metabolismo entre el hombre y la tierra; es decir, el retorno a la tierra de los elementos de ésta consumidos por el hombre en forma de

alimento y de vestido, que constituye la condición natural eterna sobre que descansa la fecundidad permanente del suelo. Al mismo tiempo, destruye la salud física de los obreros. A la vez que, destruyendo las bases primitivas y naturales de aquel metabolismo [...]

Además, todo progreso, realizado en la agricultura capitalista, no es solamente un progreso en el arte de *saquear al obrero*, sino también en el arte de *saquear la tierra*, y cada paso que se da en la intensificación de su fertilidad dentro de un período de tiempo determinado, es a la vez un paso dado en el agotamiento de las fuentes perennes que alimentan dicha fertilidad. Este proceso de aniquilación es tanto más rápido cuanto más se apoya un país, como ocurre por ejemplo con los Estados Unidos de América, sobre la gran industria como base de su desarrollo. Por tanto, la producción capitalista sólo sabe desarrollar la técnica y la combinación del proceso social de producción socavando al mismo tiempo las dos fuentes originales de toda riqueza: *la tierra y el hombre*. (Marx, 1964: 276)

De acuerdo con Foster (2002), el hecho de que Marx y Engels vivieran en una época en la que la transición del feudalismo al capitalismo era todavía un acontecimiento en la memoria reciente les permitió ver claramente que el problema ecológico no surge como resultado de un mero desarrollo científico-tecnológico sino de la lógica del sistema capitalista y su relación antagónica con el ambiente natural. El análisis crítico de Liebig presentaba la agricultura capitalista como un sistema *irracional* que debía corregirse mediante el establecimiento de una “ley de la restitución”: los minerales que sean extraídos del suelo deben regresarse al mismo. Esta propuesta, que Liebig planteaba como solución científica y como el principio de una agricultura *racional*, evidentemente no fue bien recibida por el poder británico: según Foster, el sistema capitalista la bloqueó y optó por la profundización del desajuste metabólico con la producción de fertilizantes sintéticos (derivados del petróleo) que actualmente son una de las principales causas del cambio climático y otras alteraciones ecológicas globales.

Según Marx, la solución de Liebig requería un sistema en el que pequeños granjeros independientes produjeran por cuenta propia o mediante la acción

colectiva de asociaciones de granjeros: una regulación racional del intercambio metabólico entre los seres humanos y la tierra —según Marx— es imposible bajo las condiciones sociales de la modernidad capitalista; la reparación sistémica del desajuste metabólico apuntaría, más bien, a la superación de la sociedad capitalista hacia formas comunistas y socialistas (Foster 2002: 4). El proyecto de una sociedad que no esté guiada por la maximización del lucro no sólo implica una recomposición de las relaciones sociales sino también de las ecológicas.

Como dice Capra (1982: 217), las problemáticas ecológicas no representaban, en tiempos de Marx, la amenaza global que constituyen hoy en día, por lo que no es de extrañarse que este elemento no haya constituido su argumento central contra la lógica del sistema capitalista. Sin embargo, de acuerdo con Foster, el análisis de Marx y Engels sobre el desajuste metabólico producido por el capitalismo no se limitó al ciclo de nutrientes de los suelos o a la relación campo-ciudad. Tras su revisión de la obra de dichos autores encuentra que:

Ellos abordaron en varios momentos de su trabajo cuestiones como: la deforestación, el cambio climático [regional], la desaparición de venados en los bosques, la mercantilización [*commodification*] de especies, contaminación, desechos industriales, contaminación tóxica, reciclaje, el agotamiento de los yacimientos de carbón, enfermedad, sobrepoblación y la evolución (y coevolución) de especies. (Foster 2002; traducción mía)

En su visión del necesario tránsito hacia una sociedad sin división de clases, sin trabajo alienado, sin Estado y sin propiedad privada, la cuestión de la “sustentabilidad” a largo plazo también estuvo presente, como lo muestra el siguiente extracto del tercer volumen de *El capital*:

Desde el punto de vista de una formación socio-económica más elevada, la propiedad privada de algunos individuos sobre la tierra parecerá tan absurda como la propiedad privada de un hombre sobre su semejante. Ni si quiera una sociedad, una nación entera, ni todas las sociedades existentes en un momento dado pueden considerarse propietarias [*owners*] de la

Tierra. son simplemente sus poseedoras [*possessors*], sus beneficiarias [*beneficiaries*], y —como buenos *patres familias*— deben legarla a las futuras generaciones en mejores condiciones que como la recibieron. (Marx 1964)

Barbarie en el siglo xx

De acuerdo con Samir Amin, el imperialismo no es una etapa del capitalismo, es más bien, desde su origen, un aspecto inherente de su expansión (Amin 2002 en Rollinat 2004). Siguiendo el rápido recuento de Robert Rollinat:

La primera fase de este proceso ha sido la conquista imperialista del planeta por parte de los europeos (el mercantilismo español, inglés y francés) con objetivos económicos como la apropiación de las materias primas para las necesidades de la naciente revolución industrial y la expansión de los mercados. Las consecuencias sociales fueron el esclavismo, la destrucción de las sociedades indias (hispanización, cristianización forzada o genocidio de la conquista anglosajona como en Estados Unidos).

La etapa siguiente de expansión imperialista, en la segunda mitad del siglo XIX, incluyó la “conquista” colonial y la sumisión de nuevos territorios en Asia y África. Los colonizadores, especialmente europeos, imponen su dominación de diferentes maneras [...] para imponer las normas de un comercio desigual y permitir una presencia política, económica y militar del “imperio” central. (Rollinat 2004: 141-142)

La configuración de un mercado mundial único de bienes y servicios implica ya una forma de “globalización” existente en la época de la dominación del imperialismo británico (1870-1914), periodo que estuvo marcado por una muy intensa “competencia abiertamente colonialista entre los principales países europeos, que tenían la voluntad política de conquistar nuevos territorios para

garantizar su abastecimiento de materias primas y los nuevos mercados”. (Rollinat 2004: 144)

El desarrollo de las potencias capitalistas y la exacerbación de su competencia por el dominio de las áreas coloniales condujo a ese “enorme accidente que ha sido la Primera Guerra Mundial”, guerra que, lejos de resultar un impulso natural para el *progreso* de la humanidad (como parecería desde el belicismo optimista de los darwinistas sociales), “significó una explosión de barbarie asesina al mismo tiempo que un acto suicida para Europa” (Morin 2006: 78). Así, el siglo XX arrancaba con un nuevo salto cualitativo en la capacidad de (auto)destrucción humana: la Gran Guerra conmocionó al continente con un desastre humano de escala sin precedentes, además de que el uso intensivo de armas químicas (algunas de ellas carcinógenas) inauguró un nuevo tipo de confrontaciones de alto impacto ecológico. Con la Guerra, además, maduraron unos de los más amargos frutos del desarrollo civilizatorio occidental: los regímenes totalitarios de Iósef Stalin y Adolf Hitler, en los que tanto las ideas románticas como las ideas marxistas pasaron a justificar regímenes totalitarios.

La purga estalinista

La Gran Guerra desencadenó, entre otras transformaciones, la caída del régimen zarista de la Rusia Imperial, abriendo paso a la Revolución de Octubre con la que dio inicio el enorme experimento social de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, en cuyo marco se desplegaría el Terror estalinista. Un conjunto de perturbaciones históricas fueron desviando el proyecto socialista de Lenin: la ruina económica tras la guerra, la amenaza del hambre y, especialmente, el asedio de las potencias capitalistas que, desde finales de la Primera Guerra, invirtieron grandes esfuerzos por bloquear el amenazante proyecto de una sociedad no capitalista. Como señala Morin (2006: 85), pese a que en *El Estado y la revolución* Lenin anunciaba que como resultado de la revolución se debilitaría el Estado hasta ser finalmente suprimido, el partido bolchevique finalmente se convirtió en partido único:

No se dio la construcción de un verdadero poder del proletariado, sino que, muy rápidamente, el partido no sólo controla a la clase obrera, sino que también la reprime. Bajo el rostro de una dictadura del proletariado, fue una dictadura sobre el proletariado. (Morin 2006: 82)

Ante la premura del hambre o el avance de los ejércitos invasores, se imponen medidas sobre aquella población que “no entendía” el proyecto (ej. el campesinado) o que no lo apoyaba (ej. los *kulaks*). Lenin muere, y con Stalin —el “hombre de hierro”— se consolida la política de intolerancia y exclusión. Se suspende el ideal de unas relaciones fraternales e igualitarias; se abandonan las aspiraciones internacionalistas, universalistas. Se anulan los proyectos alternativos, se disuelve la oposición, se persigue, sobreviene “la Gran Purga”, se reprime, se encarcela, se ejecuta, hasta finalmente institucionalizar la masacre. Se instaura el *Gulag*, el sistema de campos de concentración-extermínio, la “tritadora de carne”. Millones de personas serán procesadas-aniquiladas.

La tendencia totalitaria implica una creciente asimetría epistémica: se va estableciendo que el partido y sus dirigentes tienen un entendimiento superior de la situación, un conocimiento verdadero sobre las leyes de la sociedad y de la historia, unos objetivos supremos incuestionables, una preeminencia absoluta para la toma de decisiones. Como dice Morin, en la Unión Soviética no fue creada una sociedad de nuevo tipo en el sentido de una sociedad fundada sobre relaciones fraternales. Se instala un sistema totalitario: todos los elementos de la sociedad son controlados y dirigidos por un partido único, que se vuelve un centro a la vez omnisciente y omnipotente (Morin 2006: 84). Y en el mundo bipolar posterior a la Segunda Guerra, con el forcejeo entre capitalismo y comunismo por controlar el timón que guía la rueda de la Historia, todo se precipitó más allá de los límites morales, racionales, biofísicos: industrialización a todo motor, crecimiento macroeconómico a ultranza, carrera armamentista sin tregua, obsesión por la supremacía geopolítica, Guerra Fría y el ulterior colapso.

Si Lenin había impulsado políticas con visión ecológica, preocupándose por la conservación y por el ciclo de nutrientes (según el análisis Liebig-Marx), Stalin se volcó hacia la industrialización desenfrenada (limitada, en todo caso, por

factores extrínsecos, pero con férrea voluntad de crecimiento), lo que condujo a un desastre ecológico de grandes proporciones. Como afirma Foster, en la década de 1920, en la Unión Soviética se desarrollaba una ciencia ecológica de avanzada: Vernadsky formulaba la caracterización científica de la «biósfera» en un influyente marco de análisis dialéctico; Vavilov utilizaba el materialismo histórico para mapear a nivel mundial los centros de origen de las principales plantas domesticadas, base de la alimentación mundial; Oparin (junto con Haldane en Inglaterra) desarrolló la más importante explicación del origen de la Vida en la Tierra (a partir de los planteamientos de Vernadsky sobre la biósfera) En los años 1930's, el estalinismo purgó literalmente la dirigencia y comunidad científica soviéticas de los elementos con visión ecológica, entre quienes se planteaban objeciones a la acumulación primitiva socialista y la acelerada industrialización. Recluido y desacreditado en favor de Lysenko (comisionado de la agronomía estalinista) Vavilov moriría en 1943 por desnutrición en prisión. (Foster 2002).

Es importante señalar que no obra aquí ningún determinismo histórico. La Revolución de Octubre no debía producir necesariamente el totalitarismo estaliniano, como por otra parte ninguna "lógica" del marxismo mismo debía conducir obligatoriamente a la barbarie totalitaria. El totalitarismo no era previsible, no ha sido anhelado científica e intencionalmente, como lo creen quienes reducen siempre la historia a una serie de conspiraciones. Algunos elementos en el marxismo permitían el desvío totalitario, mientras que otros conducían a otras vías. (Morin 2006: 85)

Con una acertada analogía, Morin dice:

Este fracaso de la idea socialista, fraternal y humanista, es casi análogo al fracaso espiritual del cristianismo, que, al convertirse en institución, desfiguró el mensaje original de Cristo.

[...] construyeron una Iglesia jerarquizada, organizada, potencialmente "totalitaria" en un cierto sentido. (2006: 83)

La purificación nazi

Fueron la guerra y la crisis las que llevaron a Hitler al poder (Morin 2006: 92). El día siguiente a la firma del Tratado de Versalles —con el que terminaba la Primera Guerra Mundial en 1919— fue en Alemania un día de luto. No sólo perdía territorio, se le imponía el desarme y el pago de indemnizaciones: se le atribuía toda la responsabilidad moral de la guerra, se produjo un grave sentimiento de humillación nacional. Además, Alemania —que era el país más industrializado de Europa al iniciar el siglo XX— fue duramente abatida por la gran crisis económica mundial de 1929, quedando con una grave situación de desempleo (Morin 2006: 88). En este contexto se entiende el ascenso del partido nazi en 1933.

Ya desde 1924, Hitler había dejado claro cuales eran sus aspiraciones: en *Mi lucha* plantea una doctrina fuertemente nacionalista que contiene claros elementos racistas —la supremacía aria—, defendiendo la idea de que Alemania debe conquistar su *Lebensraum*, su espacio vital, rebelándose contra el hecho de que haya sido privada de colonias en África y en otras partes (Morin 2006: 87). Siendo canciller, Hitler decreta la disolución de los partidos comunista y socialista y se proclama al partido nazi como partido único. Se instalan campos de concentración para los disidentes y, por medio de temibles grupos militarizados, Hitler lleva adelante una violenta depuración entre sus opositores políticos (Morin 2006: 89). Se plantea la idea de la *pureza de sangre* aria como el fundamento de la nación y de su destino victorioso, pureza que se veía amenazada por la contaminación de elementos extraños o envilecidos.

En esta lógica, como señala Morin, “el antisemitismo ha funcionado como un medio delirante para salvar las esencias nacionales de los peligros de su disolución y corrupción” (2006: 97). En tanto repudio religioso, el antijudaísmo cristiano históricamente ha llegado a ser violento y bárbaro, no obstante, los judíos que se convertían sinceramente eran perdonados. En cambio, el antisemitismo parte de un criterio “racial”: caracterizados por “una mezcla de sangres” se les considera “biológicamente” inferiores, con lo que el odio racial y la voluntad de exterminio adquieren un carácter impermeable y radical. (Morin 2006: 96-97).

En 1935 se promulgan las primeras leyes antisemitas, se despoja de sus bienes a los judíos alemanes, se les niega la ciudadanía, se les prohíbe casarse con “arios”, tiene lugar una serie de masacres locales, la voluntad de los nazis es expulsar masivamente a los judíos de Europa. (Morin 2006: 101). Hacia 1942 —en plena Segunda Guerra y ante la amenaza de una posible derrota— Hitler pone en marcha la “solución final”: comienza el exterminio en masa mediante una sofisticada maquinaria de muerte, horror inmortalizado en la memoria con las perturbadoras imágenes de Auschwitz, las cámaras de gas y el amontonamiento de cadáveres que se produjo conforme los hornos dejaron de funcionar, ante el avance de las fuerzas aliadas que recuperaban los territorios invadidos.

Pero no hay que olvidar que los judíos no fueron el único blanco de la purificación nazi. De acuerdo con Annette Wievorka, en los campos de exterminio había presos políticos, criminales, homosexuales, testigos de Jehová, prisioneros de guerra soviéticos, judíos. (citada en Morin 2006: 104)

El odio racial y la voluntad de exterminio de los nazis no se concentraba solamente sobre los judíos. Si éstos son eliminados bajo el pretexto de la perversidad y de impureza de sangre, los gitanos y los *rom* lo serán como desechos que hay que eliminar, los “débiles mentales” como indignos de pertenecer a la raza aria. Los eslavos, si bien no están expresamente destinados al exterminio, en todo caso sí lo están a la colonización y la explotación. (Morin 2006: 102-103)

Como apunta el mismo Morin, este horror tiene su fuente en la nación más cultivada de Europa, de donde también surgieron los grandes poetas como Goethe o Hölderlin, los grandes músicos como Beethoven o Wagner. La antigua tradición democrática alemana no impidió el desarrollo de la barbarie. (2006: 91)

La visión de la supremacía aria tiene raíces en el pensamiento del romanticismo, en el que la idea de la superioridad de la “raza indoeuropea” —en torno a la cual gira uno de los principales mitos de origen para occidente— ya había servido para justificar el colonialismo y la esclavitud. La visión del *volk* (el pueblo, la comunidad) alemán en armónica integración con el paisaje —basada en

la idea de una identidad entre “suelo y sangre”— servía lo mismo para argumentar contra el avance de la modernidad que contra las comunidades judías y cristianas, de las que se criticaba su inadecuada relación con la Naturaleza y sus lamentables efectos de degradación.

Los planteamientos míticos románticos coexistieron después con una visión naturalista y “científica” de la raza aria. En este punto, cobra especial importancia el trabajo de Ernst Haeckel —quien acuñó el término «ecología»— que combinaba una espiritualidad panteísta y una cosmología monista (siguiendo a pensadores como Spinoza, oponiéndose al dualismo ontológico judeocristiano-moderno) con un enfático evolucionismo darwiniano y la creencia en la superioridad de la “raza” indo-europea. Haeckel —quien fuera una figura célebre en la Alemania del siglo XIX— sostenía que no hay una diferencia tajante entre el ser humano y los demás animales (que no hay una diferencia de tipo sino de grado) pero, al mismo tiempo, planteaba que la distancia entre la raza indoeuropea y la raza negra australiana, por ejemplo, es mucho mayor que la que hay entre ésta última y los “primates superiores”.

Haeckel sostenía que “la política es biología aplicada” y, en sus teorías, la ideología nazi encontró una justificación para el racismo nacionalista y sus proyectos eugenésicos. Proteger la pureza de sangre aria de la contaminación con sangre de razas inferiores, presionar a las mujeres a asumir “su papel” de reproductoras al servicio de la nación, practicar “eutanasia” a los débiles mentales y otros arios incurables y, finalmente, el exterminio masivo de los sujetos inferiores o impuros son algunas de las prácticas que encontraron legitimación en este marco. Habría que insistir en que encontrar líneas de herencia cultural no implica un determinismo en el sentido de que los planteamientos románticos o darwinistas *necesariamente* condujeran a las políticas de purificación nazi.

Tampoco concuerdo con Musser (2009b) al sugerir una afinidad intrínseca entre las políticas ecologistas y la ideología de intolerancia y exterminio nazi, sin embargo es importante considerar que, en efecto, la preocupación por la degradación ambiental tuvo un papel importante en la construcción de la representación de los judíos como una amenaza para la integridad del *suelo* y la

sangre alemanes, y que, como señala dicho autor, “el amor por los animales no implica [necesariamente] amor por los semejantes humanos” (Musser 2009b: 7). Los defensores de la supremacía aria veían justamente en su armónica integración con el paisaje silvestre uno de los rasgos fundamentales de la superioridad de su raza, condenando la crueldad del trato hacia los animales especialmente del pueblo judío (se enfatizaban los sacrificios rituales) como una demostración de su vileza esencial. En el tercer Reich convivieron, de hecho, las crudas políticas de exclusión, expulsión y exterminio contra las mencionadas poblaciones no arias, con la creación de leyes para la protección de los animales (1933), programas para la protección de los “bosques eternos” (*Dauerwald*) y diversos proyectos de ordenamiento territorial ecológico (como los planes para los territorios invadidos en Europa del este) según un ideal de convivencia armónica con los bosques y animales silvestres. (Musser 2009b)

No obstante, diversos autores insisten en que el nazismo estuvo muy lejos de cumplir en los hechos con su propia retórica ecologista. Hitler llevó adelante el más intenso desarrollo industrial y de infraestructura en Alemania y su régimen constituyó finalmente un desastre ecológico por la destrucción que ocasionó durante la guerra. Y sin embargo, afirma Musser, “hay que considerar que hubo un aspecto de su campaña de nacionalismo ecológico que cumplieron con una eficiencia brutal —la eliminación de los judíos— que desde la perspectiva de los dirigentes nazis era un primer paso necesario” (2009b: 3).

Destino manifiesto

El bombardeo atómico estadounidense sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945 puso punto final a la Segunda Guerra Mundial, lo que marcó el inicio de un nuevo periodo histórico. Mientras los países europeos quedaron devastados, Estados Unidos salió notablemente fortalecido, quedando frente a frente con la otra potencia vencedora, la Unión Soviética. Con la implementación del Plan Marshall para la reconstrucción de Europa (“contra el hambre, la pobreza, la desesperación y el caos”, a favor de la recuperación de la “salud económica en el mundo, la

estabilidad política y la paz”), EU no sólo asumía una posición de enorme centralidad en la estructura de poder internacional, sino que buscaba contener el avance de la influencia comunista en el mapa geopolítico. Frente al totalitarismo comunista de la URSS, EU enarboló la bandera de la democracia y el libre mercado. En dicho contexto —entre la reconstrucción de posguerra y la confrontación entre bloques—, las tres siguientes décadas se caracterizaron por constituir un periodo excepcional de crecimiento económico e industrialización a nivel mundial, lo que algunos han considerado como la “edad de oro” del capitalismo.

Como señala Robert Rollinat, desde los tiempos de las “trece colonias” fundadoras, EU se había desarrollado en América con una fuerte política de expansión territorial que implicaría una larga serie de guerras, pasando por las guerras de exterminio contra los “indios”, la “conquista del Oeste”, la guerra contra México, la anexión de Texas y California y, a finales del siglo XIX, las invasiones en el Caribe y Asia como la invasión de Filipinas y Puerto Rico, llevadas a cabo “en 1898 con el pretexto altruista de ‘liberar’ a estas poblaciones del antiguo yugo colonial”. La justificación de las guerras⁹⁴ e invasiones partió de un “mesianismo de providencia divina” propio del puritanismo a planteamientos como la Doctrina Monroe (1820) (“América para los americanos”) y la doctrina del “*Manifest Destiny*”, según la cual EU estaba predestinado a expandirse desde las costas del Atlántico al Pacífico. En el mismo sentido, a inicios del siglo XX, Theodore Roosevelt adjudicaba el derecho permanente a las naciones “civilizadas” de intervenir en contra de los “bárbaros”. (Rollinat 2004: 142)

De acuerdo con Noam Chomsky (1997), el principal diseñador del sistema constitucional estadounidense, James Madison (el cuarto presidente de EU, destacado defensor del sistema esclavista), consideraba prioritario proteger el

⁹⁴ Por supuesto, había opositores. Entre ellos, Henry D. Thoreau (1817-1862), filósofo y poeta, crítico del esclavismo y opositor a la política de guerra y expansionismo; anarquista, pacifista y promotor de la desobediencia civil; recordado principalmente como uno de los fundadores del pensamiento ecologista norteamericano, criticaba a los inmigrantes protestantes y puritanos por la acelerada degradación del paisaje; decidió alejarse de la vida civilizada y vivir solo en el bosque por unos años.

derecho a la propiedad de las minorías opulentas. Señalaba con preocupación que si las elecciones “estuvieran abiertas a toda clase de gente, la propiedad de los terratenientes no estaría segura. Una ley agraria sobrevendría al momento” dando tierra a los sin tierra, cuestión que era necesario evitar para “asegurar los intereses permanentes del país”.

Para conseguir este objetivo, el poder político debe descansar en las manos de “la riqueza de la nación”, hombres que “simpaticen suficientemente” con el derecho a la propiedad y sean “firmes custodios del poder depositado en ellos”, mientras que el resto han de ser marginados y divididos, ofreciéndoles sólo una limitada participación en los asuntos públicos y políticos. Entre académicos madisonianos existe el consenso según el cual “la constitución fue intrínsecamente un documento aristocrático diseñado para poner freno a las tendencias democráticas de la época”, otorgando el poder a los “mejores” y excluyendo a “aquellos que no eran ricos, bien nacidos, o prominentes en el ejercicio del poder político”. (Chomsky 1997)

Sobre esta base se fue construyendo la “democracia” estadounidense, la que — según el mismo Chomsky— adquiriría un sentido completamente nuevo con el desarrollo de la economía industrial y el nacimiento de las formas corporativas de organización económica. Actualmente, todos los derechos fundamentales que la constitución otorga a los ciudadanos estadounidenses, e incluso más, son otorgados también a compañías, corporaciones, empresas, entidades gubernamentales, etc., las cuales son consideradas como “personas”, aunque ciertamente un tipo muy particular de personas, puesto que son “inmortales” y cuentan con una riqueza y poder extraordinarios. (Chomsky 1997)

A partir de 1945 —en tiempos de posguerra, buscando salir de la Gran Depresión y como antídoto contra el avance de la utopía socialista— se propugnó por el llamado “Estado de Bienestar”, una combinación especial de “democracia”, capitalismo y “bienestar social” (oponiendo el llamado “*welfare state*” keynesiano al “*war fare state*”), cuyas bondades se voceaban a los cuatro vientos en los tiempos de la reconstrucción europea y la edad de oro capitalista. Al mismo tiempo, los

representantes del movimiento obrero revolucionario y los críticos con herencia marxista o anarquista señalaban que el Estado de Bienestar no era sino un intento por ocultar la explotación que sustenta todo sistema capitalista.

Cruzada por la democracia y el libre mercado

Así pues, en el periodo de la Guerra Fría, EU emprendió una “cruzada por la democracia” con objetivos de alcance planetario, asumiendo un papel a la vez de “modelo” y “guardián”, exaltando los beneficios del “*american way of life*”. Dicha misión —diseminar el “capitalismo democrático” como fundamento de la “libertad” para el mundo— fue la justificación moral para la agresiva política exterior estadounidense. La lucha contra la “amenaza comunista” y la cancelación de la “libertad” bajo un régimen totalitario como el soviético fueron la justificación de un conjunto de intervenciones militares directas e indirectas, en un periodo donde la “economía de guerra” estadounidense crecía a toda velocidad. Esta política tuvo especial intensidad en el periodo de Ronald Reagan (1981-1989), teniendo particularmente a América Latina como campo de acción. Así, “después de medio siglo de intervención continua en los diferentes rincones del planeta, de la caída del imperio soviético, de la extensión a nivel mundial de la economía liberalizada” (Rollinat 2004: 151), EU logró un grado de hegemonía geopolítica sin precedentes y la “victoria de la democracia y el libre mercado” se convirtió en un relato dominante a nivel mundial.

Hay que tener en cuenta —como sugiere Chomsky— que el término “Estados Unidos” muchas veces designa a las estructuras de poder dominantes al interior de EU, y lo que desde ahí se maneja como el “interés nacional” es en realidad el interés de esos grupos, “el cual se correlaciona muy tenuemente con los intereses de la población general” (Chomsky 1997). Por otro lado, en este nuevo momento —como advierte Rollinat—, la hegemonía económico-militar estadounidense no ha implicado un sistema totalmente unificado y centralizado: no es posible identificar una clase capitalista mundial única.

Existe un imperialismo dominante con un “modelo” general basado en la ley del mercado, pero esta tendencia a la supremacía no suprime la

competencia interimperialista. Al contrario, podríamos considerar que la tendencia global a extender las normas del mercado y del comercio libre conduce a exacerbar esta competencia. Las recientes grandes operaciones de fusión o adquisición entre grandes firmas multinacionales, particularmente a nivel europeo y estadounidense, demuestran la agudeza de la competencia interimperialista y la imposibilidad de que exista una comunidad “Mundial” de intereses y derechos de propiedad de capital. (Rollinat 2004: 150)

Según el mismo autor, la hegemonía de Estados Unidos no está fundada en una superioridad inherente de su sistema económico, su dominancia es más que todo militar “y ésta es la fuerza ‘político-diplomática’ que le permite a la vez superar las deficiencias inherentes a su posición parasitaria (la necesidad de ‘tributo’) en el sistema geopolítico mundial” (Rollinat 2004: 153). Rollinat explica que, según las estimaciones, EU necesita aproximadamente mil millones de dólares al día para cubrir su déficit comercial, un flujo de capitales que pasó de 88 mil millones de dólares en 1990 a 865 mil millones en 2001 (diez veces más). “En este sentido se puede hablar de un ‘tributo’ imperial”. (Rollinat 2004: 148)

En el caso de los llamados “países en desarrollo” —especialmente para los de América Latina— la dominación del régimen dólar-Wall Street se ejerce mediante las políticas vinculadas a las inversiones extranjeras, inversiones que deben entenderse en el marco global de exacerbada competencia entre los llamados “países desarrollados” cuyo objetivo permanente es el de buscar nuevas fuentes de ganancia. Se trata, pues, de una política de endeudamiento que, si bien no es nuevo (el endeudamiento forzoso se practica al menos desde el siglo XIX), jamás había ejercido una presión tan aguda sobre los países dominados. “El círculo infernal de la deuda es sin duda la forma más sutil de la dominación imperialista”. (Rollinat 2004: 149)

En el mismo sentido, Chomsky, quien asegura que “ni los Estados Unidos ni ningún otro poder se han guiado nunca por el ‘progreso global’”, señala también que el “Tratado de Libre Comercio de Norteamérica” —el cual fue promovido a la vez como un instrumento para la “apertura democrática” y la liberalización

comercial— constituye en realidad un acuerdo esencialmente proteccionista (diseñado para obstaculizar la competencia de Asia del Este y Europa) a la vez que un candado contra los verdaderos procesos de democratización.

Aquello que fue denunciado continuamente desde el principio fuera de la discusión oficial sobre los objetivos del TLCAN, ahora se acepta discretamente: que el objetivo real era “atrapar a México dentro de las reformas” que lo habían convertido en un “milagro económico” en el sentido técnico del término, es decir, un “milagro” para los inversionistas estadounidenses y los mexicanos ricos, mientras la población se hunde en la miseria [...] Se esperaba que “atrapando a México” dentro de las reformas se ahuyentara el peligro detectado durante un Taller de Desarrollo Estratégico en Latinoamérica celebrado en Washington en septiembre de 1990, en el que se concluyó que las relaciones con la dictadura mexicana eran buenas, pero que existía un problema potencial: “una ‘apertura democrática’ en México podría poner a prueba esta relación especial si llegara a instaurar un gobierno interesado en desafiar a EU por motivos económicos y nacionalistas”, lo cual ya no representa un peligro ahora que México está “atrapado dentro de las reformas” por tratado. (Chomsky 1997)

De acuerdo con lo anterior, la lógica sería que la “democracia” se refuerza a través de la transferencia de la toma de decisiones fundamentales a manos de tiranías privadas que no reconocen otra responsabilidad que ante sí mismas, la mayoría de ellas con sede en el extranjero. Según el mismo autor, si con “democracia” queremos entender algo que implique una capacidad substancial de la gente para participar en el control de los asuntos que le afectan de manera personal y colectiva, entonces la democracia está amenazada mundialmente por los constantes ataques que provienen del poder de “entes corporativos cuya estructura interna es totalitaria, crecientemente entrelazados con y dependientes de estados fuertes, y en gran medida libres de toda obligación para con el público”, cuyo inmenso poder sigue creciendo en una dinámica “que globaliza el modelo estructural del Tercer Mundo, con sectores enormemente ricos y

privilegiados” y el consecuente incremento de las poblaciones que padecen las consecuencias negativas de la desigualdad. (Chomsky 1997)

Así, de acuerdo con Rollinat, “la relación proclamada entre la voluntad de extender la democracia y la libertad y el progreso económico y social ya no funciona porque el ‘neoliberalismo global’, para afirmar sus reglas, tiende a acentuar dramáticamente las desigualdades a nivel internacional” (2004: 154). El mismo autor señala que, en los últimos años, si bien los objetivos geopolíticos y económicos fundamentales de Estados Unidos no han cambiado, muchos expertos consideran que ha habido un cambio a nivel estratégico. La política “*Enlargement*” —basada en la extensión y consolidación de la comunidad de las “democracias de mercado libre”, y alianzas militares en el marco de la OTAN— ha sido reemplazada por un “militarismo de imperio” (Rollinat 2004: 151) que, en materia de conflictos internacionales, implica una primacía de la fuerza militar en detrimento del derecho. Esta nueva estrategia imperial autorizaría a EU la declaración de “guerras preventivas” para afrontar cualquier amenaza en contra de sus intereses en el extranjero. La visión de Bush de una “guerra infinita” contra el terrorismo, según Rollinat; debe entenderse teniendo en cuenta la llegada al poder en EU “de un grupo ‘neoconservador’ con una visión religiosa sectaria, un tipo de neo-reaganismo partidario de una estrategia hiperimperialista” cuya estrategia responde a los intereses directos del llamado “complejo industrial-militar” entre cuyos intereses geopolíticos es prioritario el abastecimiento de petróleo (Rollinat 2004: 153). No es sorprendente, pues, que bajo estas nuevas formas de legitimación (la “guerra contra el terror”), las necesidades de este “imperialismo petrolero” hayan llevado a que, en la primavera de 2003, EU (con el apoyo de Inglaterra) haya invadido Irak, el país con la segunda reserva de petróleo más grande del mundo.

El imperio de la imagen

Chomsky (1997) considera que las doctrinas dominantes en la actualidad (como la del capitalismo democrático) difícilmente sobrevivirían sin los aportes de la llamada industria de las Relaciones Públicas y sus contribuciones en el arte de

“reglamentar el pensamiento público tan bien como un ejército reglamenta el cuerpo de sus soldados”, en palabras del célebre Edward Bernays, uno de sus fundadores y máximos exponentes. Chomsky y Fernández (S/F: 12) coinciden en señalar que las dos guerras mundiales —pero especialmente la segunda— constituyeron verdaderos campos de experimentación en cuanto a la producción industrializada de cultura propagandística al servicio de las dinámicas militaristas, elementos indispensables para la victoria. Para ilustrar el punto, Chomsky retoma las palabras del mismo Bernays:

“El increíble éxito de la propaganda durante la guerra fue, por supuesto, lo que abrió los ojos de esa minoría inteligente, que existe en todas las esferas de la vida, a las posibilidades de la regulación del pensamiento público”, escribió. Su objetivo [de Bernays] era adaptar su experiencia [en la agencia estatal de propaganda de W. Wilson] a las necesidades de las “minorías inteligentes”, principalmente líderes en el ámbito de los negocios, cuya tarea es “la consciente e inteligente manipulación de los hábitos y las opiniones de las masas”. Tal “ingeniería del consentimiento” es la pura “esencia del proceso democrático”, escribía Bernays poco antes de haber sido homenajeado por su contribución por la Asociación Americana de Psicología en 1949. La importancia de “controlar el pensamiento público” ha ido admitiéndose con mayor franqueza conforme las luchas populares han conseguido extender las modalidades de democracia, dando paso así a lo que las elites liberales dan en llamar “la crisis de la democracia”, como en el caso de poblaciones normalmente pasivas y apáticas que se organizan con el objetivo de entrar en la arena política para hacer valer sus intereses y demandas, amenazando la estabilidad y el orden. Tal y como Bernays lo explicaba, con “el sufragio y la educación universales, (...) al final incluso la burguesía acabó temiendo a la gente común, puesto que por un momento pareció que las masas se convertirían en el soberano”, una tendencia afortunadamente invertida —o en eso se ha confiado— gracias a los nuevos métodos diseñados e implementados “para moldear el pensamiento de las masas”. (Chomsky 1997)

De acuerdo con Fernández, el desarrollo de esta “ingeniería del consentimiento” junto con la rápida evolución de los medios de comunicación masiva en el siglo XX —en el contexto de la llamada “tercera Revolución Industrial”— permitieron que la imagen se fuera convirtiendo en el elemento fundamental “tanto para impulsar la expansión del mercado como para garantizar la gobernabilidad de las distintas sociedades”, sociedades potencialmente rebeldes “que debían ser adecuadamente gestionadas para hacer posible la hegemonía y la expansión del capital”, lo cual se convirtió en un objetivo fundamental para las estructuras de poder (Fernández 2010: 8). El control sobre los medios de comunicación permite lanzar, de manera más o menos disimulada, mensajes con gran carga política, como por ejemplo:

la fe en el mercado des-regulado y la competitividad como valores supremos, la ineficiencia del Estado, la eficacia y confianza en los mercados financieros, la benevolencia de la «globalización», la bondad de las privatizaciones de empresas, servicios públicos y hasta del sistema de pensiones, las virtudes de la reducción de impuestos, la necesidad de la flexibilización laboral, la disfuncionalidad del gasto social, etc. Todo ello, vendido como las medidas que iban a permitir la generación de riqueza generalizada, ha logrado una brutal alteración en la subjetividad de las masas, presentando como beneficiosas, incluso como ineluctables, las reformas exigidas por el nuevo capitalismo (financiero) global. (Fernández 2010: 29)

Tras la caída de la Unión Soviética, el mensaje —sobre el cual insistía Margaret Thatcher— se proclamó como verdad histórica de nuestro tiempo: “*There is no alternative*”, no hay alternativas para el desarrollo de las naciones modernas, el único camino es la globalización capitalista. Se anunció el “fin de la historia” y el “fin de las ideologías”, desacreditando la validez de cualquier cuestionamiento del orden establecido y del menor atisbo de utopía social.

Imágenes icónicas del siglo XX como la de la llegada del hombre a la Luna marcaban no sólo la superioridad estadounidense como modelo para la

humanidad, sino que reforzaban la fe en el progreso tecno-científico y la sensación de confianza obtenida por el dominio sobre la Naturaleza, incrementadas después con el desciframiento del genoma humano, la ciencia biogenética y la nanotecnología. El cine y la televisión fueron los medios ideales para llevar al máximo la visión fantástica de las ciudades futuristas como construcciones ultrasofisticadas de las que la Naturaleza ya sería totalmente desterrada: ya no será necesaria, los humanos podrán fundar colonias en el espacio exterior y abandonarla definitivamente, viviendo en cápsulas de “naturaleza” *creada* artificialmente.

Así, en las últimas décadas del siglo, Occidente, y en particular el mundo anglosajón, consolidó su influencia dominante mediante la proyección mundial de sus valores e intereses, con lo que la modernización como proceso cultural logró una universalización sin precedentes. Entre otros rasgos (el consumismo, la supremacía de la vida urbana sobre la rural, la normalización de la violencia, la explotación visual del cuerpo de las mujeres, etc.), el individualismo moderno ha encontrado en la “cultura de masas” una apabullante reafirmación. Como señala Leonardo Boff, “al ser humano (post)moderno le ha entrado el «complejo de Dios»” se asume a sí mismo casi como si fuera Dios, “un Dios todopoderoso y, sobre todo, por encima del bien y del mal. Y no sólo porque a través de la tecnociencia (y en especial del uso indiscriminado de energía) pensase que lo podía conseguir todo, sino, principalmente, porque ha desarrollado un individualismo narcisista y posesivo, sin parangón, y un fuerte hedonismo insolidario” (citado en Fernández 2010: 49).

3.4.4. Contestación y reacomodo en tiempos de crisis global

Progreso y contracultura

El furor industrial y el acelerado crecimiento económico observados en las décadas que siguieron a la Segunda Guerra Mundial —la llamada “treintena gloriosa” (1945-1973)— implicaron un incremento sin precedentes en el grado de

impacto humano sobre el medio ambiente. Las tecnologías surgidas tras la “segunda revolución industrial” (ubicada entre finales del siglo XIX y las primeras décadas del XX) habían traído consigo una intensificada capacidad de depredación y destrucción: la transición del carbón al petróleo, la rápida evolución de los motores de combustión interna y el uso de la electricidad hicieron posibles cosas que antes eran impensables, el auge de la industria química moderna ofreció un abanico de “soluciones” para prácticamente todos los campos de la producción (incluidos los agroquímicos) que al mismo tiempo implicaban la constante aparición de nuevas formas de contaminación con el surgimiento de productos químicos cada vez más peligrosos. El deslumbrante fulgor de la primera explosión atómica (en julio de 1945, en el desierto de Nuevo México, días antes del bombardeo contra Hiroshima y Nagasaki) inauguraba una nueva era en términos de la capacidad de destrucción que otorgaba a ciertos grupos de poder y presentaba por primera vez efectos contaminantes que rebasaban las fronteras locales, todo lo cual se consolidaría poco después con el desarrollo de la era nuclear.

Lo anterior, sumado al hecho de que en ese mismo periodo la ecología alcanza su madurez como ciencia enfatizando la complejidad y fragilidad de las relaciones entre los seres vivos y su medio ambiente, constituye parte del contexto en el que surgió el movimiento ecologista de las décadas de los sesentas y setentas. Como señala Beatriz Santamarina (2006), dicho contexto estuvo marcado también por las legendarias protestas estudiantiles de 1968, los movimientos por los derechos civiles de diferentes grupos marginados, las movilizaciones de protesta contra la guerra de Vietnam, la revolución cubana, las luchas independentistas en regiones que seguían padeciendo el yugo colonial, etc. Un conjunto heterogéneo de voces críticas y desafiantes en cuyos entrecruces se iba configurando una contracultura que, recuperando elementos de distintas fuentes, planteaba un conjunto de valores alternativos —libertarios, feministas, pacifistas, ecologistas, etc.— y proponía formas distintas de entender al mundo.

La aparición de una serie de libros que hoy en día se consideran precursores de la literatura ecologista, los cuales en muchos casos se convirtieron

en *best sellers* en diversos idiomas, es un punto de referencia para identificar un giro en la opinión pública de las clases medias de EU y otros países. *La primavera silenciosa* de Rachel Carson lanzaba, en 1962, una contundente denuncia de la muy preocupante situación con respecto a diversas formas de contaminación generalizada y su traducción en graves enfermedades físicas y mentales, siendo particularmente el cáncer una trágica expresión de las insospechadas consecuencias de las profundas alteraciones que la industrialización estaba provocando. Con abundancia de ejemplos, Carson buscaba desmitificar el “control de la Naturaleza” describiéndolo como un camino hacia la autodestrucción. (Santamarina 2006: 65)

En 1963 se publicaba *Ciencia y supervivencia* de Barry Commoner quien — de acuerdo con Santamarina— cuestionaba si verdaderamente poseemos un dominio sobre los inmensos poderes que ahora nos brinda la ciencia o si corremos el riesgo de que se nos vayan de las manos, denunciando “los peligros de una ciencia, inconsciente y sin limitaciones, sujeta a intereses político-militares y económicos”, lo que le llevaba a concluir que “el periodo de la fe inocente en la ciencia y la tecnología está tocando su fin”. Enfatizando también las consecuencias no previstas de ciertos desarrollos tecnológicos, su libro plantea una perturbadora visión de *la máquina* —máxima expresión del éxito tecnocientífico en el sometimiento de la materia a las órdenes humanas— que, por un simple desajuste no previsto, se vuelve en contra de sus creadores, planteando enormes riesgos en la medida en que a dichas máquinas se les ha dotado de un increíble poder de destrucción. (Santamarina 2006 :66-67)

Por otro lado, Paul Ehrlich publicaba en 1968 su libro *The population bomb*, poniendo el énfasis en el acelerado crecimiento poblacional. Retomando el viejo planteamiento malthusiano, argumentaba por la necesidad de definir un tamaño óptimo para estabilizar a la población y limitar el crecimiento demográfico. En un planteamiento simple pero crudo, se planteaba que tal proceso tendría que pasar por una “solución de la tasa de natalidad” o bien por una “solución de la tasa de mortalidad”. (Santamarina 2006 :69)

En una obra posterior, Commoner señalaba que, dado que las causas de la degradación ambiental se encuentran en el fracaso ecológico de la tecnología, es necesaria una combinación de “reforma de la tecnología de producción y reducción del crecimiento de la población”, planteando que en la encrucijada actual, nos encontramos ante dos alternativas, “o una organización racional y social del uso y distribución de los recursos de la Tierra, o una nueva barbarie” (citado en Santamarina 2006: 69).

Estos libros fueron seguidos por una larga lista de títulos que abonaron un proceso de profundo cambio en la percepción del mundo. Se denunciaba la insostenibilidad del sistema iniciándose un amplio debate sobre el dilema de los límites al crecimiento. Se multiplicaron las voces de alarma actualizando —con un nuevo sentido y a partir de muy distintas bases— el “pensamiento apocalíptico” en las sociedades modernas. Los planteamientos fueron muy diversos, difiriendo en la forma de plantear el predicamento, la identificación de las causas y, en consecuencia, proponiendo distintas soluciones.

Desafortunadamente, diversos recuentos sobre el “movimiento ecologista” del siglo XX se limitan a analizar lo sucedido con las clases medias de los países ricos. Reaccionando contra esta deficiencia y asumiendo una perspectiva más amplia, Ramachandra Guha critica a aquellos autores que plantean que el ambientalismo o ecologismo es un fenómeno propio de las sociedades “post-materiales”, típico de “personas con estómagos llenos, una inquietud de lujo y de tiempo de ocio que surge solamente cuando las necesidades materiales de comida, ropa y vivienda ya están satisfechas” (Guha 1994: 138). Como ejemplo cita al economista norteamericano Lester Thurow, quien afirma que “si miramos qué individuos son los que apoyan el ambientalismo en cualquier país, es notable que siempre se trata de personas de las clases medias-altas, los países pobres y los individuos pobres simplemente no se interesan por el medio ambiente” (1980, citado en Guha 1994: 138).

Guha retoma el trabajo de Joan Martínez-Alier para señalar que hay una “ecología de la abundancia” que caracteriza a las sociedades avanzadas industriales (o post-industriales) del Norte y hay un “ecologismo de los pobres”

más típico de las sociedades del Sur, menos urbanizadas e industrializadas. En ese sentido, Guha y Martínez-Alier señalan ejemplos recientes en India, Kenia, Brasil, Perú, Bolivia, México y podrían agregarse muchos más. No debemos pasar por alto el pensamiento y las luchas de todos los pueblos que de una u otra forma se han opuesto a la explotación, destrucción y saqueo de sus territorios, especialmente ante la voracidad imperialista de las naciones europeas. Sin embargo, desafortunadamente, de muchos de estos casos ha quedado poco o ningún registro.

No obstante, en un mundo organizado en virtud de la imposición y en función de la expoliación, parece que en efecto fueron las protestas masivas de las clases medias en los países centrales las que presionaron a las autoridades y los grupos en el poder a reaccionar. Y así ocurrió en 1970 —como culminación de un proceso organizativo producido en la década de los sesentas— cuando al menos veinte millones de personas se manifestaron en la celebración del primer “Día de la Tierra”, lo que —de acuerdo con Santamarina— demuestra un reconocimiento social de la crisis ecológica y desencadenó una serie de reacciones institucionales (como la creación de la *Environmental Protection Agency* en EU), por lo que algunos autores señalan dicha fecha como el punto de eclosión del movimiento ecologista. (Santamarina 2006: 73-74)

Herejes de la modernidad

Desde una diversidad de posturas y con planteamientos muy heterogéneos, el debate ambientalista/ecologista puso sobre la mesa algunas de las premisas sobre las que se basa la visión del mundo occidental y algunos de los valores que orientan el proyecto civilizatorio de la modernidad.

Se cuestionó la idea misma de «progreso», la visión de que la humanidad avanza hacia un futuro mejor a través de la modernización; la posibilidad de un crecimiento infinito y la promesa de desarrollo económico para todos bajo el sistema económico imperante; se criticaron los valores del individualismo, consumismo, hedonismo y nihilismo como base para una sociedad funcional; se

denunció un orden sociopolítico injusto, tanto al interior de una misma sociedad como, especialmente, entre sociedades distintas; se discutió la superioridad intrínseca de Occidente, su posesión de la Verdad y la virtud moral, deslegitimando, por lo tanto, la imposición de sus reglas del juego sobre los otros grupos humanos.

Se cuestionó la fe ciega en la ciencia y la tecnología, planteando que su “progreso” no conduce simple ni necesariamente hacia el bienestar de la humanidad. No se trata de un avance al margen de los intereses de poder ni de un terreno moralmente neutral: se criticaba una tecno-ciencia al servicio de grupos de poder con intenciones éticamente inaceptables. Se rebatió el mito moderno del dominio absoluto a través de la ciencia y la Razón, mostrando los crecientes riesgos (ninguna tecnología está exenta de accidentes) y las consecuencias no previstas (nunca se pueden controlar todas las “variables”). Se cuestionaba, pues, la fe en la omnisciencia y omnipotencia humanas —atributos *cuasi* divinos—, negando la *posibilidad* de un dominio absoluto sobre la Naturaleza.

Incluso hubo quien cuestionó la *legitimidad* de las aspiraciones a dicho dominio sobre el mundo natural, como en el caso de la “ecología profunda” de Arne Naess. La visión del ser humano como el ser superior, quien implantaría un orden moral y un sentido de progreso sobre el mundo —el “más evolucionado”, el “más apto” para la supervivencia—, se confrontaba ahora con la visión de un ser irracional, compulsivo, inmoral y terriblemente destructivo. Para algunos, la crisis ecológica demostraba también que el ser humano no puede vivir sin sus relaciones ecológicas, que éstas le son imprescindibles, que no es un ser autónomo e independiente, que el mundo humano no puede existir fuera de la Naturaleza, y que —por su propia supervivencia— más le valdría no avanzar en contra de ella. Dicha crisis cuestiona, pues, el proyecto humanista de Occidente.

Una computadora mira al futuro y tiembla

La creciente preocupación por la crisis ecológica fue convirtiéndose en un tema de debate mundial, debate que en las décadas de los setentas y ochentas ascendería

hasta involucrar a las principales instancias de poder político y económico a nivel internacional.

El trabajo desarrollado por el Club de Roma —que agrupaba a más de cien especialistas de diversos países— tuvo un papel destacado en este proceso. Dicha agrupación publicó una serie de informes como parte de un amplio programa de trabajo en torno al “Predicamento de la Humanidad”, el primero de los cuales se titulaba *Los límites del crecimiento* (1972). En dicho trabajo, realizado por el Grupo de Dinámica de Sistemas del Instituto Tecnológico de Massachussets [MIT], bajo el mando de Donella Meadows, se construyó un modelo formal para analizar —con el uso de computadoras— las interacciones de cinco factores críticos: el crecimiento de la población, la producción de alimentos, la industrialización, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación.

La Computadora adquiría, así, la función de un oráculo moderno. El resultado fueron oscuros pronósticos sobre el futuro de la Humanidad: la producción y la población mundial no podían seguir creciendo indefinidamente (con el observado patrón de crecimiento exponencial), puesto que de mantenerse dicha tendencia rebasaría los límites planetarios en los cien años siguientes. Se planteaba de manera contundente la imposibilidad de un crecimiento infinito dentro de un sistema finito, como lo es el planeta Tierra, por lo que era necesario tratar de establecer cuáles eran los límites dentro de los cuales tendría que mantenerse la actividad humana para evitar precipitarse hacia la catástrofe. La definición de tales límites se convertiría rápidamente en un tema de intenso debate mundial. Especialmente controvertida fue la idea del “crecimiento cero” como objetivo para el futuro inmediato, según la cual sería necesario *detener* el crecimiento del PIB y la renta *per capita*, tesis que choca frontalmente contra la inercia del sistema económico mundial y contra el ideal capitalista de acumulación infinita.

Además, como señala Santamarina, el informe incluía una serie de políticas correctoras para modificar el rumbo en la búsqueda de “establecer una condición de estabilidad ecológica y económica que pueda mantenerse durante largo tiempo”. Utilizando el mismo modelo computacional, el MIT introdujo un conjunto de siete medidas para alterar las tendencias futuras: “la estabilización de la

población, la reducción del consumo de recursos no renovables, la reorientación de la sociedad hacia servicios como la educación y la salud frente a los bienes materiales, la reducción de la contaminación, la prioridad de la producción de alimentos suficientes, la garantía de la fertilidad de los suelos a través del reciclaje y la redistribución del capital industrial que asegurara un mejor funcionamiento". El efecto correctivo de dichas medidas se calculaba bajo el supuesto de que su aplicación sería homogénea y de manera casi inmediata, "lo que las hacía irreales a los ojos de políticos e investigadores". (Santamarina 2006: 89-90)

De acuerdo con Meadows (1992: 20 citado en Santamarina 2006: 119), con motivo de los informes del Club de Roma, los titulares de algunos periódicos eran "Un ordenador mira al futuro y tiembla", "Un estudio vislumbra el desastre para el año 2100", "Los científicos advierten sobre la catástrofe global".

La Cumbre de la Tierra

Tres meses después tendría lugar la primera "Cumbre de la Tierra": la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment*), en Estocolmo, Suecia, con la participación de representantes de 113 países, "en un contexto de importantes tensiones Centro-Periferia, así como en pleno conflicto de la Guerra Fría" (Fernández S/F: 40). Desde las reuniones preparativas se hizo patente un clima de tensión política: la URSS abandonó las negociaciones, se percibía "la desconfianza de los países en vías de desarrollo frente a la posición de los países desarrollados" y se manifestaba una confrontación con respecto a la definición de los modelos de desarrollo (Santamarina 2006: 103). En la discusión que daría lugar al documento base:

Los países desarrollados simplemente habían sustituido el concepto de naturaleza por el de medio ambiente, en una lógica caracterizada por la economización de la naturaleza, de tal forma que se imposibilitaba sacar a relucir los principales problemas acarreados por una racionalidad de mercado basada en la exclusión de las mayorías y en la reducción a mercancías, no solo de personas y cosas, sino también de la naturaleza. Un

debate que no se quería hacer explícito y que quedó reducido a una nueva propuesta en la definición de medio ambiente. De modo que, en la cumbre, dicho concepto aparecería matizado por la expresión de medio humano [*human environment*], como recoge su propio nombre. (Santamarina 2006: 104)

En un informe realizado para la misma conferencia (“Una sola Tierra. El cuidado y conservación de un pequeño planeta” de Ward y Dubos), se criticaba la noción de *human environment* como un concepto ambiguo y mal definido, informe cuya introducción iniciaba diciendo: “¿Son los hombres simplemente monos superiores y, como tales, su importancia no es mayor que la de otros componentes de los ecosistemas naturales u ocupa el hombre un lugar especial en la naturaleza?” (Ward & Dubos, 1972, en Santamarina 2006: 105).

Con respecto a este punto, en la Conferencia de Estocolmo se hizo patente la confrontación entre dos perspectivas desde las cuales la relación ser humano-naturaleza se planteaba de forma muy distinta. La postura oficial de la cumbre estuvo marcada (desde su mismo nombre) por un planteamiento radicalmente antropocéntrico, discutiendo la gestión del medio ambiente en función del desarrollo de los seres humanos. Por otro lado, se realizaron asambleas paralelas (como el *Environmental Forum* convocado por Commoner) en donde se discutió por fuera de los formalismos diplomáticos tratando a la naturaleza como un fin en sí misma. Desde posiciones que pueden definirse como “biocéntricas” o “ecocéntricas”, lo que se discutía era cómo adaptar la actividad humana al orden natural, en vez de cómo doblegar este último para satisfacer las necesidades humanas. (Santamarina 2006: 106)

La discusión oficial ignoró este tipo de planteamientos. De acuerdo con Bellver, la declaración final de la cumbre se asienta sobre tres pilares: las afirmaciones de que “el principal problema ecológico es el subdesarrollo, la naturaleza es considerada como un instrumento y el ser humano es lo más valioso” (Bellver 1994 en Santamarina 2006: 107). De acuerdo con el análisis de Beatriz Santamarina, en dicha declaración:

se apuesta por una visión antropocéntrica situando al ser humano como centro, “de todas las cosas del mundo, los seres humanos son lo más valioso” (Preámbulo, punto 5) y tratando a la naturaleza como un simple instrumento (Preámbulo, punto 3). De tal forma que sale fortalecida la concepción de la naturaleza como mercancía. La idea ilustrada de progreso se exalta través de los beneficios del desarrollo económico *versus* desarrollo social del mismo modo que su fe sigue consagrándose gracias a la exaltación de la ciencia y la técnica como portadoras de bienestar y de soluciones futuras (Preámbulo, punto 5). La confrontación entre países en vías de desarrollo y desarrollados se resuelve en una suerte de paradoja sin solución: los primeros tienen problemas ambientales por la falta de desarrollo mientras que los problemas de los segundos vienen derivados por el exceso de desarrollo (Preámbulo, punto 4). (Santamarina 2006: 108)

Así, la primera Cumbre de la Tierra (en la que se creó el Programa de Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente [PNUMA], se promulgó la “Declaración sobre el Medio Ambiente Humano” y se instituyó la celebración del “Día Mundial del Medio Ambiente Humano”) constituye, para Santamarina, el inicio de un conjunto de esfuerzos institucionales por canalizar una serie de críticas que sacaban a relucir “las contradicciones y consecuencias no deseadas de un sistema económico e ideológico basado en una falsa idea de progreso, generador de grandes desigualdades (económicas, políticas, sociales...) y que ponía en peligro a la vida misma contemplada como un todo” (Santamarina 2006: 109).

En el mismo sentido, Fernández señala que este proceso implicaría el surgimiento de lo que algunos han llamado una “ecocracia”: una “creciente burocracia internacional, así como estatal y privada [...] dedicada al tratamiento de la problemática ambiental dentro, por supuesto, de la lógica del modelo de crecimiento y acumulación constante” (Fernández S/F: 41).

Informes suavizados, catástrofes agudizadas

En 1974, el Club de Roma publicó un segundo informe titulado *La humanidad en la encrucijada*. Dirigido esta vez por Mesarovic y Pestel, respondía a algunas de las críticas planteadas al primer informe. Según relata Santamarina, en vez de plantear una visión de homogeneidad, reconocían la necesidad de tener en cuenta la diversidad mundial. Afirmando que las nuevas condiciones han transformado al mundo en un sistema global, destacaban la necesidad de atender a las interconexiones entre la partes considerando al mundo como un sistema de interdependencias. En ese sentido señalaban que el gran problema de la humanidad era resultado de la doble brecha que separaba, cada vez más, al ser humano de la Naturaleza y a los ricos de los pobres, problema que planteaba la necesidad urgente de la cooperación global.

En dicho escenario, planteaban que “la humanidad parece estar en una encrucijada: continuar por la vieja ruta —o sea, seguir la ruta tradicional, sin rectificaciones, hacia el futuro— o comenzar por un camino nuevo”. La “vieja ruta” consistía en un modelo de “crecimiento indiferenciado” que conduce a la crisis: problemas demográficos, energéticos, alimenticios y de materias primas, etc., afirmando que “el crecimiento por el crecimiento mismo, en el sentido numérico y de tamaño, sencillamente no puede continuar por tiempo indefinido”. Sin embargo, a diferencia del primer informe, en esta ocasión la solución planteada no implicaba un freno total al crecimiento, argumentando que dicha propuesta sólo sería realista si se tratara de un mundo uniforme. Lo que proponían como “nueva ruta” para la humanidad era un “crecimiento orgánico”, un crecimiento que implica diferenciación y cuyo desarrollo debería ser orquestado por un gran “plan maestro”. (Santamarina 2006: 90-91)

Dos años más tarde, en 1976, publicarían un tercer informe titulado *Reestructuración del orden internacional*, cuyo objetivo —bajo la dirección del economista y premio Nobel Jan Tinbergen— era contribuir al diálogo en torno a cómo debería ser el “nuevo orden internacional”. En la primera parte, planteaban un análisis sobre lo que consideraban los principales problemas mundiales: la carrera de armamentos, el crecimiento de la población, los alimentos, el

desequilibrio de los asentamientos humanos, el medio ambiente, el problema de los recursos naturales y energéticos, las desigualdades generadas por el sistema monetario y comercial, el poder de las multinacionales y la necesidad de un reajuste de las instituciones internacionales. (Santamarina 2006: 92)

Ante dicha situación, planteaban como medidas prioritarias: la urgencia de corregir las grandes desigualdades, la necesidad de un crecimiento mundial armonioso y la exigencia de un sistema de planificación mundial del uso de los recursos. En este sentido, dicho informe incluye una propuesta para conseguir un orden equitativo que permita reducir la distancia entre ricos y pobres, con el objetivo final de “lograr una vida de dignidad y bienestar para todos los ciudadanos del mundo”. Para esto —se planteaba— lo que hace falta es “desarrollo”, orientado a: la satisfacción de las necesidades, la erradicación de la pobreza, el desarrollo autónomo, el ejercicio del poder público y el ecodesarrollo equilibrado. De acuerdo con el análisis de Beatriz Santamarina, si bien este informe contenía una “tímida crítica” a la noción imperante de desarrollo, al final no queda clara la distinción entre desarrollo y crecimiento. No se plantea una transformación total ni del sistema económico ni del sistema ideológico que lo sustenta (la ideología del desarrollo). (Santamarina 2006: 92-93)

En plena debacle de los setenta, en medio de la primera (1973) y segunda crisis del petróleo (1979), los reportes continuaron proliferando. En 1977, el entonces presidente de EU, Jimmy Carter encargaba al Consejo sobre la Calidad Ambiental y al Departamento de Estado un análisis global sobre los cambios en la demografía, los recursos y el ambiente. Surge así el *Global 2000 Report to the President: Entering the 21st Century*, desarrollado bajo la dirección de Gerald O. Barney, quien en 1976 era la cabeza de los Programas de Población y Medio Ambiente de la *Rockefeller Brothers Fund*. Dicho informe coincidía en alertar sobre los graves problemas que se enfrentarían a inicios del tercer milenio, según lo que podía preverse si persistían las tendencias observadas: habría problemas de sobrepoblación, contaminación, inestabilidad ecológica, escasez de recursos, mayor distancia entre ricos y pobres, conflictividad exacerbada...

En vísperas de la reestructuración del capitalismo hacia la globalización neoliberal, surgieron *think tanks* conservadores en EU que tendrían una importante participación en la batalla ideológica sobre la crisis ecológica, entre los que se cuenta la *Heritage Foundation*. De acuerdo con Fernández, esta fundación está detrás de la publicación de *The Resourceful Earth* (Simon y Kahn, 1984), que se planteaba como reacción al *Global 2000* de la administración demócrata de Carter. Este libro plantea “una visión cornucopiana de una Naturaleza desbordante de recursos naturales, con una aproximación tecno-optimista respecto al uso de los mismos, negando la existencia de límites biofísicos a la expansión del crecimiento económico y el progreso”. (Fernández S/F: 41)

Mientras tanto, como relata Santamarina (2006: 86-87) una sucesión de desastres ecológicos causaban escándalo a nivel mundial. En Bhopal (India), en la noche del 2 al 3 de diciembre de 1984, se produjo un escape de gas venenoso de una fábrica de plaguicidas propiedad de la multinacional norteamericana Union Carbide Corporation. Cerca de cuarenta toneladas de gases tóxicos formaron una nube sobre la ciudad, cuya inhalación tuvo como consecuencia directa la muerte de más de siete mil personas, causando lesiones a más de 200 mil. Las causas del desastre se relacionaron con la reducción de costes de la empresa, que implicó una disminución en las medidas de seguridad.

En Basilea (Suiza), la noche del 1 al 2 de noviembre de 1986 se incendió un depósito de la empresa químico-farmacéutica Sandoz, produciéndose un vertido incontrolado de productos químicos altamente contaminantes en el río Rhin. El agua contaminada recorrió toda la cuenca alemana hasta llegar a Holanda para desembocar en el mar del Norte. Al cabo de una semana, el río estaba lleno de peces muertos, el desastre provocó la desaparición de gran parte de la fauna piscícola, afectando gravemente el suministro de agua potable de la República Federal Alemana y los Países Bajos.

Pero el suceso más grave de esos años se produjo en la noche del 25 al 26 de abril de 1986 en Chernobyl (República Ucraniana de la entonces Unión Soviética), tristemente célebre por el accidente más grave de la historia de la industria nuclear. La explosión del reactor número 4 causó una nube radiactiva

durante diez días que no respetó fronteras, afectando gravemente a Bielorrusia, Ucrania y Rusia, extendiéndose por la antigua Unión Soviética y Europa. Según la Organización Mundial de la Salud, la radiactividad provocada por el accidente fue cien veces superior a la que emitieron las bombas de Hiroshima y Nagasaki juntas. Durante los primeros días, las autoridades ocultaron el accidente, lo que contribuyó a agravar aún más los efectos. Se calcula que 30 mil personas han muerto a causa del accidente, y al menos 10 millones han sido afectadas por la radiactividad, cuyas secuelas seguirán presentes por varias generaciones. Tras la crisis energética de los setenta y en el contexto de la carrera armamentista de la Guerra Fría, muchos gobiernos optaron por impulsar la energía nuclear, medida que, especialmente a partir del accidente de Chernobyl, desató protestas masivas en todo el mundo.

Alquimia retórica: el “desarrollo sustentable”

Desde 1983, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo había sido creada por Naciones Unidas y estaba trabajando en un estudio que sirviera de base para un “programa global para el cambio”. El resultado fue el documento *Nuestro futuro común* —mejor conocido como el Informe Brundtland por el nombre de su directora— el cual fue presentado en 1987.

El análisis que se plantea en dicho informe incluye algunas asociaciones de conceptos que reclaman especial atención. Por un lado, se afirma que la crisis ecológica multidimensional, “cada vez más profunda y extensa, supone una *amenaza para la seguridad nacional* —e incluso para la supervivencia—, amenaza que puede ser mayor que la que plantean vecinos bien armados y mal dispuestos y alianzas poco amistosas” (en Santamarina 2006: 99, énfasis mío), planteamiento en el que se propone una metáfora bélica: la degradación ambiental como enemigo de la nación. Por otro lado, en el mismo documento se vincula directamente la degradación ambiental con la pobreza lo que, en opinión de Santamarina, constituye una de las asociaciones “más perversas” del informe (Santamarina 2006: 101). Si los pobres son los principales culpables de la degradación ambiental, y ésta representa una amenaza para la seguridad de las

naciones, la ecuación implícita puede conducir a proposiciones sumamente graves.

En la visión de Brundtland *et al*, los países desarrollados estaban resolviendo de mejor manera los problemas ambientales por lo que, en el mejor de los casos, lo que deberían hacer los países subdesarrollados es tratar de imitarlos. En este sentido, para atender el problema de la degradación ecológica así como la pobreza en el mundo, el informe llega a la conclusión de que “lo que necesitamos es una era de crecimiento, un crecimiento vigoroso y, al mismo tiempo, social y ambientalmente sostenible” (en Fernández S/F: 42). Así, se dejaba atrás el ideal del “crecimiento cero” proponiendo en su lugar la idea de un “desarrollo sustentable” que beneficiaría a todos, planteamiento que a partir de entonces se volvería predominante en la retórica “ecologista” oficial.

Sobre esta cuestión —retomando la perspectiva crítica de Joan Martínez-Alier (1991)— es necesario decir un par de cosas. En algunos casos es cierto que la pobreza está vinculada con la degradación ecológica, un ejemplo extremo planteado por dicho autor es el de campesinos pobres que se ven forzados a comerse las semillas de la siembra del siguiente año, agotando de ese modo lo que podría ser un recurso renovable. Sin embargo, la riqueza —más aún que la pobreza— es también una causa de degradación ambiental, teniendo en cuenta la gran cantidad de consumo energético y de recursos así como de producción de desechos y contaminantes generados *per capita* en los países “desarrollados”.

En segundo lugar, al enfocar el problema en términos de “pobreza” en vez de “desigualdad”, lo que se plantea como solución es un crecimiento económico general (pretendidamente benéfico para todos) y no la *redistribución* de la riqueza. Se elimina, de este modo, toda crítica en torno a la desigual distribución de los recursos en el orden económico imperante: la ideología del desarrollo no sólo quedaba intacta sino que salía reforzada, legitimándose como remedio a la degradación ambiental y, por lo tanto, como garantía de la seguridad de las naciones.

Por otro lado, muchos autores coinciden en señalar que la idea misma de “desarrollo sustentable” es no sólo vaga e imprecisa, sino contradictoria e

impracticable. En el informe se define como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. No se define explícitamente qué se entiende por “desarrollo”, quedando sobreentendido que éste implica crecimiento económico. No se especifica de qué “necesidades” se buscará satisfacer, ni qué se entiende por la “capacidad” de satisfacerlas. (Santamarina 2006: 124)

En su vaguedad, el concepto parece conciliar a los “desarrollistas”, cuyos intereses son predominantemente económicos, con los “conservacionistas”, cuyas prioridades son ecológicas. Sin embargo, en realidad se trata de un oxímoron, una *contradictio in terminis*: si “desarrollo” implica *crecimiento* (y un crecimiento “vigoroso”, además), entonces lo que se plantea es justo lo opuesto a mantenerse dentro de los *límites* que permitirían que el sistema fuera “sustentable”. Se trata, pues, de la cuadratura del círculo. En esta yuxtaposición absurda, sin embargo, el término “desarrollo” es el sustantivo, por lo que adquiere preeminencia sobre el término “sustentable”, que funge como calificativo. Por lo tanto, a fin de cuentas, el concepto de “desarrollo sustentable” trae implícito el predominio del crecimiento económico por sobre cualquier consideración de los límites ecológicos. La retórica para abordar la problemática ambiental era ya un campo de batalla internacional. (Fernández S/F: 41-42)

De acuerdo con Guillermo Aragón (2011: 122), el término “desarrollo sustentable” se generó bajo la presión del gobierno estadounidense. En 1974 — como resultado de un seminario internacional sobre deterioro ambiental organizado por la ONU en Cuernavaca, Morelos—, se había dado a conocer la Declaración de Cocoyoc, que postulaba que el objetivo de todo sistema económico debería ser el “ecodesarrollo”, siguiendo la pauta marcada por el primer informe del Club de Roma y en la Conferencia de Estocolmo. Unos días después, el presidente del PNUMA recibía un telegrama de Henry Kissinger — Secretario de Estado durante la administración de Nixon— con el que el gobierno de EU vetaba de manera tajante la utilización oficial de dicho término, porque perjudicaría los capitales estadounidenses.

Ante la oposición y presión del gobierno norteamericano, se generó el nuevo término *Desarrollo Sostenible* [o Sustentable], que los economistas podían aceptar fácilmente y sin recelo al confundirse con el de *self sustained growth* (crecimiento autosostenido), introducido tiempo atrás por Rostow, ya que el concepto de ecodesarrollo exigiría a los países ricos cambiar su modelo de crecimiento económico, subordinándolo a los “límites del crecimiento” definidos por el Club de Roma, lo cual era inaceptable para los dueños del dinero. (Aragón 2011: 122)

Como señala Santamarina, bajo el polisémico concepto de desarrollo sustentable —cuyo festejado nacimiento tiene como paisaje de fondo el inicio de la reestructuración del capitalismo neoliberal— reaparece reformulado el viejo mito del progreso, planteando que en lugar de un “cambio de rumbo” lo que necesitamos es “avanzar en la misma dirección”. Dicha formulación será clave en la construcción y legitimación del discurso ecológico porque en esa “solución” de la problemática ambiental es donde los grupos en el poder finalmente van a encontrar una nueva legitimación del sistema político-económico vigente. No extraña que todo lo demás sea rechazado por “catastrofista”, “apocalíptico” o “radical”, connotaciones negativas que servirán para desacreditar aquellos discursos que hagan peligrar los pilares del sistema. Así, de acuerdo con la misma autora, el Informe Brundtland marca un cambio significativo en el tratamiento del tema: mientras que los primeros informes planteaban fuertes críticas contra la ideología dominante del crecimiento económico rechazando las utopías de la modernización y el desarrollo industrial, este informe implica el triunfo enmascarado de la nueva era neoliberal. (Santamarina 2006: 100-101)

En esos mismos años, “el péndulo del intervencionismo estatal en este terreno se empieza a mover hacia atrás en EU”. Como parte de su agenda de privatización y desregulación universal —que buscaba precisamente eliminar todas las “trabas” que pudieran entorpecer el crecimiento— la administración Reagan iniciaba el proceso de liberalización de la regulación ambiental que había sido desarrollada en los sesenta y setenta. Una vez doblegada la OPEP, los precios del petróleo, de la energía en general, así como de las materias primas,

empiezan a caer abruptamente, con lo que “el crecimiento se pone otra vez en marcha, eso sí, generando unas crecientes desigualdades sociales y territoriales, a escala estatal e internacional, e intensificándose los impactos medioambientales”. Es también la década de la explosión de la deuda externa de los países “en desarrollo”. (Fernández S/F: 42)

El imperio de un oxímoron: “capitalismo verde”

Cinco años después, en 1992, se celebró la segunda Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil. Se trató de la mayor cumbre internacional realizada hasta el momento sobre el tema: participaron 110 jefes de estado, cinco mil delegados de 178 países y nueve mil periodistas. El nombre de la reunión oficial fue “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”, lo que dejaba claro desde un inicio cual era la orientación general del foro. Paralelamente y de manera externa (aunque, en esta ocasión, con 30 kilómetros de “sana distancia” entre ambas), se llevó a cabo una cumbre alternativa, el Foro Global, que contó con la participación de más de mil organizaciones no gubernamentales de todo el mundo. Siguiendo la línea marcada por el Informe Brundtland, la Conferencia de Río será el espacio en donde la idea del “desarrollo sustentable” se consolidará como paradigma oficial. (Santamarina 2006: 111)

Como señala Fernández, esta cumbre tuvo lugar poco después de la implosión de la URSS y de la primera Guerra del Golfo, ambas en 1991. Se trataba, pues, del momento en que EU se afianzaba como la única superpotencia en un mundo ya unipolar. “George Bush, padre, presidente entonces de EU, deja claro desde el primer momento que la superpotencia no está dispuesta a poner en cuestión el *American Way of Life*. Su estilo de vida era innegociable.” Eran también los años del triunfo de la Sociedad de la Imagen, el Espectáculo y la Información, el momento de auge de las ONG’s, que habían irrumpido con fuerza en los 80, y la época en que se afianzaba un capitalismo cada día más globalizado, controlado por las grandes corporaciones transnacionales. En los preparativos de la cumbre participaron activamente muchas de las principales

empresas del mundo a través del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, entre ellas, algunas de las más contaminantes. De este modo, la Industria se presentaba como un nuevo Ciudadano Global que venía a “ayudar” a Naciones Unidas en la consecución de sus objetivos medioambientales. “Una nueva era parecía abrirse en la década de la Globalización Feliz. Todo parecía posible, una vez colapsado el Imperio del Mal.” (Fernández S/F: 43)

En la Cumbre de Río se firmaron por separado cinco acuerdos. Los tres primeros son: (1) la “Declaración de Río” (también conocida como la “Carta de la Tierra”) que reúne una serie de principios que los países deberían asumir para la protección del medio ambiente, entre los que destaca el desarrollo sustentable; (2) la “Agenda 21” que consiste en una serie de medidas a implementar para lograr el desarrollo sustentable; y (3) la declaración de principios sobre la ordenación, conservación y el desarrollo sustentable de los bosques, en cuya negociación hubo tensiones entre las posturas de los países ricos y pobres. Estos tres acuerdos no tenían carácter vinculante, por lo que su aprobación final no implicó más que una manifestación de buenas intenciones.

El cuarto acuerdo fue el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo era estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que no amenazara con producir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático, luego de que en 1990 hubiera aparecido el primer informe del Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC). Este acuerdo —que sería la base para el posterior desarrollo del Protocolo de Kyoto— sí tenía un carácter vinculante: su aprobación implicaba un cumplimiento obligatorio por parte de los países signatarios en el sentido de reducir las emisiones hasta determinados límites en un plazo de tiempo establecido. Por esta razón, EU se negó a firmarlo, lo que quitó fuerza al compromiso de los demás países.

El quinto y último acuerdo, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, también fue negociado con un carácter jurídico obligatorio. Se planteaba como objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización sustentable de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que deriven de

los recursos genéticos (Art 1°). Los intereses que estaban en juego eran enormes, por lo que la negociación fue sumamente tensa. Los países ricos contaban con la tecnología necesaria para explotar la biodiversidad, pero en general carecían de ésta última. En cambio, en los países pobres se encontraban (y aún se encuentran) las principales zonas de biodiversidad a nivel planetario, pero no disponían de la tecnología necesaria para su explotación, además de que albergaban comunidades indígenas y campesinas que en muchos casos se oponían a su explotación comercial (Fernández S/F: 44). Intentando superar la diferencia, se reconoció el derecho soberano de los estados a sus recursos y se estableció que los países que eran “fuente” de diversidad biogenética pudieran exigir a los países que la explotaran que éstos “compartieran” de forma “justa y equitativa los resultados de la investigación y desarrollo y los beneficios económicos derivados de la utilización comercial y de otra índole” (Art 15°, punto 17). Bajo estos términos, George Bush se negó a firmar el acuerdo, actitud que siguieron numerosos países (sólo 70 de los países asistentes lo firmaron en ese momento). Como explica Santamarina, el trasfondo era el mantenimiento de la hegemonía de unos países sobre otros, y quedaba claro que “una cosa era explotar los recursos de forma sustentable y otra bien distinta repartir equitativamente los beneficios” (Santamarina 2006: 115).

La Conferencia de Río tuvo éxito en consagrar el “desarrollo sustentable” como la forma legítima y autorizada de buscar la “protección del medio ambiente”, lo que funcionaría como elemento de contención desplazando y acallando otros planteamientos posibles. Se consolidaba, de este modo, un discurso hegemónico sobre lo ambiental con el que, “a través de un complejo ideológico tan ambiguo como absurdo e ineficaz”, los países ricos acabaron ratificando su hegemonía. Lejos de plantearse alguna corrección al modelo de desarrollo, se reafirmaba y legitimaba el mismo imperialismo voraz en el marco retórico de la globalización neoliberal, planteada como el destino inevitable de la humanidad. (Santamarina 2006: 116)

Mientras que la opinión pública internacional recibía las “buenas noticias” sobre el modo en que los gobiernos del mundo y las instituciones supranacionales

estaban finalmente tomando cartas en el asunto de la crisis ecológica, surgían también renovadas voces de alerta. La comunidad científica mundial nunca había sido tan amplia y diversa, y en su interior, comunidades de científicos de diversas disciplinas discutían intensamente el tema de la crisis ecológica. Surgieron nuevas investigaciones que señalaban que la situación era aún peor de lo que previó el Club de Roma. Como vimos al inicio, nuevos informes señalaban que la biocapacidad planetaria *ya había sido rebasada* (la fecha de mayor consenso es 1986), que la sexta extinción de las especies *ya estaba en marcha* (Leahey & Lewin, 1995), etcétera.

Pero también surgieron voces que afirmaban que el “calentamiento global” era un error surgido de investigaciones de mala calidad, una mentira sensacionalista o un gran montaje con fines políticos: generalmente se denuncia un “complot” contra los países ricos, especialmente contra EU, aunque también hay casos en que se afirma que es para bloquear el “desarrollo” de los países pobres. Así, hay quienes niegan que el “cambio climático” esté realmente ocurriendo, otras veces se acepta que ocurre pero negando que su origen sea antropogénico, habiendo también quienes aceptan ambas cosas pero consideran que no es algo de lo que realmente tengamos que preocuparnos, sea porque ocurrirá en un futuro muy lejano o porque, simplemente, podremos adaptarnos gracias a la ciencia y tecnología (véase Washington & Cook, 2011). Lo mismo ha ocurrido con los límites al crecimiento, con los daños a la salud por los desechos químicos, con las nefastas consecuencias del uso del poder nuclear, con las extinciones de especies, más recientemente con los transgénicos, etcétera.

Mientras tanto, el cada vez más globalizado régimen capitalista se había ido liberando de las regulaciones estatales que lo habían maniatado en el periodo entre los años 30's y 70's. Sobre este punto, Fernández retoma a Arrighi (1999) para decir que “Wall Street se imponía otra vez definitivamente sobre Washington”. A escala global, “el capital financiero y las grandes corporaciones van a reinar cada vez con menos cortapisas políticas, sociales y, por supuesto, ambientales”. (Fernández S/F: 45)

En este proceso, el Fondo Monetario Internacional ha tenido un papel protagónico. En los años 90's se encargó de imponer los "Programas de Ajuste Estructural" a los países de América Latina y África, "promoviendo" la orientación de sus economías hacia la exportación de materias primas. Condicionados por la creciente carga de sus "deudas externas", los países periféricos tenían que echar abajo toda protección ambiental para hacer posible cualquier actividad económica —por más depredadora o destructiva que sea— que les proporcione algo de efectivo con que paliar su endeudamiento. La dificultad agregada era que ahora había que hacerlo con una glamorosa imagen de "sostenibilidad". (Fernández S/F: 46)

En esto, un gran experto ha sido el Banco Mundial. Con una sofisticada combinación de retórica "ambientalista" y de la "lucha contra la pobreza", financió un intenso programa de construcción de infraestructura en territorios de los países subdesarrollados (autopistas, grandes puertos, presas hidroeléctricas, oleoductos, etc.) impulsando agresivos proyectos industriales, minero-extractivos, de energía fósil e incluso de carbón. No extraña, pues, que haya sido el candidato ganador a quien se encomendaría —en la Conferencia de Río— el alto deber de gestionar el nuevo Fondo Mundial para el Medio Ambiente, bajo la presión de los países centrales, cuyas empresas serían las grandes beneficiarias del mismo. (Fernández S/F: 46)

Por su parte, la Organización Mundial del Comercio se ha encargado de "reforzar las dinámicas del capitalismo global mediante la mundialización del comercio y la inversión, a través de la creciente eliminación de trabas estatales a su expansión", lo que entre otras cosas implica el desmantelamiento de aquellos tratados y convenios ambientalistas internacionales que representen algún tipo de obstáculo a sus políticas. Mientras muchos de los convenios para la protección ambiental son voluntarios y respetuosos de la "soberanía" de los Estados firmantes, las políticas de la OMC son de obligado cumplimiento, y ésta puede instrumentar sanciones económicas si algún Estado miembro las incumple. (Fernández S/F: 48)

Sin embargo, el avance de las políticas privatizadoras neoliberales, como se sabe, enfrenta el riesgo de las crisis de legitimidad y la consecuente protesta social. Fernández sostiene que éste es el motivo por el cual el capital privado ha buscado avanzar “en compañía” de los Estados, las ONG’s y hasta de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Por esta razón, a partir de los años 90’s, la nueva estrategia de privatización, gestión y apropiación de los recursos naturales ha consistido en la proliferación de los *partnerships* público-privados, intentando también incorporar a grandes ONG’s ambientalistas como la WWF (*World Wide Fund for Nature*). (Fernández S/F: 48)

Esta estrategia va a consolidarse en la tercera Cumbre de la Tierra: la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible realizada en 2002 en Johannesburgo, Sudáfrica. Frente a los tratados “Tipo 1”, aquellos de carácter obligatorio en los que los Estados nacionales son los únicos actores, se proponían ahora los tratados “Tipo 2”, de carácter voluntario, sin compromisos, sin supervisión internacional y estimulando la “participación privada”. La transición hacia un planteamiento que enfatiza los mecanismos de Responsabilidad Social y Ambiental *corporativa* constituye una vía más para que las empresas asuman el papel protagónico como agentes de la “protección ambiental”, despojando —en los hechos— a los Estados del control sobre los recursos. (Fernández S/F: 48)

La cumbre de Johannesburgo abría en medio de un clima de gran escepticismo y crítica. Luego de diez años de políticas de “desarrollo sustentable” desde la Conferencia de Río, la degradación ambiental y la pobreza en el mundo seguían en aumento. A la percepción de carencia de metas y compromisos eficaces, se sumó la ausencia del presidente estadounidense, George Bush hijo. El desacuerdo entre países ricos y pobres persistía, y muchas voces coincidieron en calificar el encuentro como una gran estafa o traición. Vandana Shiva lo expresaba diciendo que las grandes empresas trasnacionales habían secuestrado la Conferencia y la habían transformado en la “Cumbre de los Dólares”. (citada en Santamarina 2006: 123)

Otra gran frustración de las “negociaciones climáticas” es la del protocolo de Kyoto. Surgido en 1997 a partir de arduas negociaciones originadas en la

Cumbre de Río, planteaba como objetivo para 2012 una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de tan sólo el 5% con respecto a los niveles de 1990. Presentaba “soluciones” basadas en la lógica de mercado, es decir, acciones que se orientaran fundamentalmente por la búsqueda de ganancias económicas por parte de los actores involucrados. Junto con los llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio, se han impulsado medidas en los países del Tercer Mundo que supuestamente “compensen” las emisiones del Primer Mundo, evitando así las costosas reducciones que tendrían que realizar estos últimos. En realidad, el promocionado “mercado de carbono” no implica necesariamente ninguna reducción de emisiones: una empresa que compre suficientes “bonos de carbono” puede incluso aumentar sus emisiones contaminantes y aparecer con un balance “ecológicamente positivo”. En cambio, dicho sistema sí está permitiendo nuevas formas de negocios y especulación financiera altamente lucrativos.

Aún siendo que el Protocolo fue originalmente impulsado por la administración demócrata de Bill Clinton, la complejidad de los intereses económicos estadounidenses, en concreto los de las empresas petroleras, del automóvil y otros grandes consumidores de energía, impidieron que saliera adelante: fue rechazado por el Congreso (dominado por los republicanos) y más tarde sepultado definitivamente por Bush hijo. Su ratificación fue bloqueada hasta el 2004 por la oposición de varios países “desarrollados”, especialmente EU —el mayor emisor de gases de efecto invernadero— quien hasta la fecha se rehúsa a ratificarlo. (Fernández S/F: 25-26, 43-44)

Todos estos “fracasos” no son sino expresiones de aquella contradicción expresada en la idea del “desarrollo sustentable”: tanto el intento de legitimar el avance del capitalismo con la retórica “ecologista”, como el de “salvar al planeta” desde la lógica del mercado parten de una contradicción irremediable. Fernández afirma que, a inicios del siglo XXI, la estrategia del nuevo “capitalismo Verde”, desarrollado en la última parte del siglo XX, se enfrenta a quienes sostienen una postura más convencional, que él define como la del *Business as Usual*. En un primer momento, se creyó que la llegada de Obama a la presidencia de EU desbloquearía la “Vía Verde”, sin embargo, tras el estallido de la Crisis Global

(2007-2008) y luego de la fallida Cumbre de Copenhague sobre Cambio Climático (2009), “los intereses económicos dominantes y las crecientes tensiones en el seno del G-20 (los principales actores estatales mundiales, que representan el 85% del PIB mundial y dos tercios de la población global) están atascando cada vez más esta “Vía Verde” del Capitalismo Global”. (Fernández S/Fc: 17)

3.5. *¿Homo sapiens sapiens?*

Cincuenta años después de los primeros informes científicos sobre la crisis ecosocial global, como civilización no sólo seguimos avanzando en la misma dirección —rumbo al precipicio—, sino que hemos pisado el acelerador a fondo. El hecho de que las negociaciones internacionales entre organismos supranacionales, gobiernos nacionales, empresas transnacionales y los grandes “tomadores de decisiones” en el planeta hayan “fracasado” en frenar el desarrollo y/o cambiar de rumbo no puede entenderse sin considerar que, desde otra perspectiva, es un “éxito”. Como ha mostrado Naomi Klein (2007) los impulsores del neoliberalismo han aprendido a aprovechar (y a generar) situaciones de crisis para impulsar reformas impopulares, acumulando cada vez más en menos manos. La civilización moderna industrial no ha cumplido sus promesas para las grandes mayorías en el planeta, pero para una pequeña minoría ha funcionado de maravilla: hoy en día tenemos la mayor concentración de riqueza y poder en toda la historia. La continuidad de los discursos que justifican el proceso civilizatorio —y que nos invitan a creer que “no hay alternativa”— es parte esencial de la explicación del proceso que nos ha llevado a la presente crisis.

Ahora bien, culpar a “la civilización occidental” de la gran catástrofe mundial como si se tratara de una entidad intrínsecamente maligna sería un desacierto, casi tanto como es un lugar común. Con respecto a este punto asumo una postura análoga a la de Edgar Morin en su libro *Breve historia de la barbarie en Occidente* (2006). Concentrándose principalmente en las implicaciones sociales del desarrollo Occidental (y no tanto en las ecológicas), Morin advierte que ni la

dominación ni la barbarie son particulares a Occidente, se encuentran presentes —en acto o en potencia— en todos los grupos humanos. Sin embargo, Morin enfatiza la diferencia entre las “sociedades arcaicas” y

las sociedades históricas surgidas de la formidable metamorfosis que se ha comenzado a operar hace quizás ocho mil años en el Medio Oriente, en la cuenca del Indo, en China, después en México y en los Andes. Esta metamorfosis ha producido las grandes civilizaciones de sociedades que cuentan con miles, hasta con millones de miembros, que practican la agricultura, que construyen ciudades, crean Estados y grandes religiones, inventan los ejércitos, desarrollan considerablemente las técnicas. Aún cuando rasgos de barbarie podían caracterizar a las sociedades arcaicas, es en las sociedades históricas donde se ven aparecer los rasgos de una barbarie vinculada al poder del Estado [...] se produce una verdadera escalada de conquistas que va más allá de la mera necesidad vital y que se manifiesta en las masacres, las destrucciones sistemáticas, los pillajes, las violaciones, la esclavización. Existe entonces una barbarie que toma forma y se desencadena con la civilización. (Morin 2006: 17)

En este sentido, abandonando definitivamente aquella dicotomía clásica que oponía civilización y barbarie (en donde, por supuesto, civilización era sinónimo de Occidente) el autor no sólo afirma que “las tendencias bárbaras coexisten con las tendencias civilizadoras” (Morin 2006: 34), sino que “la civilización produce barbarie, en particular la barbarie de la conquista y la dominación” (Morin 2006: 19). Dichas “sociedades históricas” “se construyen eliminando progresivamente a las pequeñas sociedades arcaicas que las han precedido. Pero es con el auge mundial de la civilización occidental que se opera la destrucción genocida de la humanidad arcaica y de los pueblos sin Estado” (Morin 2006: 39).

Así, “aún cuando Europa no detenta el monopolio de la barbarie, ha manifestado todas las formas de barbarie propias de las sociedades históricas [...] [y] lo ha hecho de manera más duradera, más integrada y, sin duda, más

innovadora” (Morin 2006: 23-24). A fin de cuentas, en los últimos cinco siglos se observa una explosión de la

barbarie europea, cinco siglos de conquistas, de reducción a la servidumbre, de colonización. Por cierto, hay que decirlo nuevamente, la barbarie se vio acompañada por efectos de civilización, e incluso los ha inducido. En el curso de esta mundialización de la barbarie europea, hubo mestizajes de culturas, intercambios, contactos creadores [...] Habría que subrayar la ambivalencia, la complejidad de lo que es la barbarie, de lo que es la civilización, por cierto no para justificar los actos de barbarie, sino para comprenderlos mejor y así evitar que nos posean ciegamente. (Morin 2006: 38-39)

Sin caer en una demonización simplista de la ciencia y tecnología modernas, Morin reconoce que, con éstas, Occidente “ha desarrollado poderes de destrucción inauditos e incontrolados”, y que “el desarrollo tecno-económico actual produce la degradación de la biósfera que a su vez arrastra la degradación de la civilización humana” (Morin 2006: 72).

Así pues, es necesario dejar claro que no considero que Occidente sea el único grupo humano que, en una búsqueda de autoafirmación mediante el dominio, haya traído destrucción para otros seres humanos y no-humanos. Sin embargo, sí resalta como el ejemplo por excelencia, el que lo ha llevado más lejos, logrando —como se sabe— un dominio de alcance mundial cuyas consecuencias destructivas tienen un impacto global. Por otro lado, considero que es *el proyecto civilizatorio* de la modernidad occidental el que *ha conducido* a la crisis generalizada: no es Occidente mismo quien tendría —como si fuera parte de su esencia— un carácter destructivo: se trata de uno de sus proyectos (seguramente el mayor de todos: conquistar el mundo) que, como todo proyecto, podría replantearse o abandonarse. Además, dicha destrucción sería un resultado (no el único) de un complejo proceso en el que hay muchas consecuencias no previstas.

El primer rostro del humanismo, el que se revela ilusorio por no decir delirante, coloca al hombre en el lugar de Dios, de hecho el único sujeto del

universo, y le da la misión de conquistar el mundo. Es la misión que Descartes confiere a la ciencia: hacer del hombre el dueño y señor de la naturaleza. Retomado sucesivamente por Bufón y por Karl Marx, el mensaje cartesiano de la omnipotencia prometeica recién cae hecho pedazos a partir de 1970. De ahí en más, advertimos que el dominio de la naturaleza, que de suyo no admite control, conduce a la degradación de la biósfera y, por consiguiente, a la degradación de la vida y de las sociedades humanas: este tipo de dominio tiene un carácter suicida. (Morin 2006: 48)

El gran relato de que “la Razón” —entendida como la cualidad humana por excelencia— nos convertirá en soberanos del mundo, que la ciencia y la tecnología nos hacen progresivamente omniscientes y omnipotentes, nos impide ver que el proyecto de dominación está destinado al fracaso. La inteligencia no nos hará todopoderosos ni conseguirá dominar el mundo. La plasticidad de nuestros cerebros, que en su aspecto positivo nos permite adquirir conocimiento y construir teorías científicas que nos ayudan a vivir mejor, también nos permite construir delirantes fantasías que pueden conducirnos a la muerte. Considerando este aspecto dual que nos caracteriza, que incluye a la vez la facultad de conocimiento y la posibilidad de la demencia, estoy de acuerdo otra vez con Morin (1973) cuando propone rebautizar a la especie como *Homo sapiens demens*.

La pregunta, entonces, es: ¿en este momento crucial de la historia, saldrá a relucir nuestra parte *sapiens*, aprendiendo una gran lección a partir de la crisis ecosocial global, o se desatará todo el potencial de nuestra parte *demens*, arrastrándonos delirantemente hacia el precipicio?

Conclusiones

Re-examine all you have been told at school or church or in any book,
dismiss whatever insults your own soul.

Walt Whitman

If you would be a real seeker after truth,
it is necessary that, at least once in your life,
you doubt, as far as possible, all things.

Rene Descartes

El gran proyecto de dominación de la naturaleza ha fracasado. La inteligencia humana, la ciencia y la tecnología modernas, no son ni llegarán a ser omnipotentes. La naturaleza no es un autómatas que pueda ser gobernado. Dominar la naturaleza y vivir más allá de los límites que ella impone no sólo no es posible: hoy en día es evidente que nos está conduciendo a la autodestrucción.

Sin embargo, la inercia cultural es poderosa. Aunque los negacionistas han sido ampliamente desacreditados, mucha gente sigue actuando como si la crisis ecológica no estuviera ocurriendo. Ante un tema tan profundamente desestabilizador, muchas personas se sienten abrumadas y prefieren ni si quiera pensar al respecto. Otros reconocen que dicha crisis está ocurriendo realmente, pero confían en que los gobiernos, las Naciones Unidas, los científicos o las empresas ya están haciendo algo para remediarla. Y aunque pueda parecer sorprendente, hay personas que creen que aunque la presente crisis pueda

conducir a la destrucción de la vida en el planeta, la civilización podrá continuar, colonizando otros planetas o construyendo bases espaciales. Ciertamente es una fantasía que ha sido sobradamente alimentada por la ciencia ficción y las películas de viajes espaciales, pero esta idea es de hecho sostenida por algunos grandes científicos (como Stephen Hawking o Eric Drexler, el padre de la nanotecnología) y por los llamados “transhumanistas”, un movimiento intelectual con creciente influencia en muchos países del primer mundo. Por último, hay quienes consideran que se trata de una crisis planetaria terminal, irremediable y que la civilización no podrá sobrevivir, pero que había una tendencia ineludible que nos condujo sin escapatoria hacia el precipicio y no hay nada que hacer al respecto, tomando una posición de un pesimismo apocalíptico que no invita más que a la resignación o a un exacerbado egoísmo hedonista mientras se acaba la fiesta de la autodestrucción. Todas estas posiciones coinciden en un punto: considerar que la expansión de la civilización —entendida como progresivo dominio de la naturaleza— es la única salida, la única dirección de “progreso” concebible y que, si ésta llegara a fallar, no hay ninguna otra alternativa digna de consideración.

Parafraseando a Slavoj Žižek⁹⁵, parece cierto que, hoy en día, nos resulta más fácil imaginar el “fin de la naturaleza” que el “fin de la civilización”. Nos identificamos con la civilización y no con la naturaleza. Estamos acostumbrados a pensar que la naturaleza es desechable, que fungió como “preparación” para lo que verdaderamente vale: nosotros. Y lo que más sagradamente apreciamos de nosotros mismos es, precisamente, nuestra pretendida capacidad de dominarlo todo, la instrumentalización de los otros (humanos y no-humanos). Lynn White lo expresaba con una sarcástica franqueza al decir que:

⁹⁵ “Hoy, como Fredric Jameson ha observado con perspicacia, ya nadie considera seriamente alternativas posibles al capitalismo, mientras que la imaginación popular es perseguida por las visiones del inminente “colapso de la naturaleza”, del cese de toda la vida en la Tierra: parece más fácil imaginar el “fin del Mundo” que un cambio mucho más modesto en el modo de producción, como si el capitalismo liberal fuera lo “real” que de algún modo sobrevivirá, incluso bajo una catástrofe ecológica global” (Žižek, 2010)

A pesar de Copérnico, todo el cosmos gira alrededor de nuestro pequeño planeta. A pesar de Darwin, nosotros no somos en nuestros corazones, parte del proceso natural. Somos superiores a la naturaleza, la despreciamos y estamos dispuestos a utilizarla para nuestros más mínimos caprichos. (2007: 85)

En el (largo) recuento que aquí he presentado, pasando por la evolución física, biológica y social, he tratado de identificar las causas profundas de la crisis ecosocial global. Con los elementos considerados, sostengo que las causas no se encuentran en el nivel físico ni en el biológico, sino en el nivel sociopolítico y cultural-ideológico. La crisis no se explica por la segunda ley de la termodinámica ni por el malentendido “principio de Lotka”, no hay una tendencia evolutiva ni en la física ni en la biología que conduzca inexorablemente hacia la maximización de la tasa de producción de entropía. La crisis ecosocial global no es una “crisis entrópica” ni es el desenlace inevitable de la evolución de la vida en la Tierra. La causa profunda tampoco es el neoliberalismo ni el capitalismo (es algo aún más amplio), no es la ciencia o la tecnología (como si fueran inherentemente destructivas).

Sostengo que la dinámica básica que conduce al colapso es la “civilización”, entendida no bajo sus definiciones idealizadas, sino como un sistema cuya estructura básica consiste en un centro que ejerce dominio sobre una periferia⁹⁶ para acumular excedente productivo. Esta dinámica tiende inherentemente hacia el rebasamiento de la biocapacidad del territorio dominado, forzando a las comunidades productoras (que ya no pueden decidir autónomamente) a presionar excesivamente a los ecosistemas que habitan. La acumulación del excedente productivo permite formar ejércitos e ideólogos encargados de estabilizar este orden injusto y asimétrico en el que las decisiones y el privilegio se acumulan en los centros. Además de la centralización de las decisiones y de la acumulación del excedente productivo (tributo), los grandes ejércitos permiten la expansión del dominio, lo cual inaugura un *feedback* positivo de expansionismo militarista: un

⁹⁶ Estructura que se reproduce fractalmente en la expansión civilizatoria, subordinando pequeños centros dominantes a grandes centros dominantes...

ejército poderoso permite dominar más territorio, acumular más excedente para hacer un ejército aún más poderoso y ampliar aún más el territorio dominado... El progreso civilizatorio se ha entendido históricamente siempre como expansión, cualquier cosa que obstruya dicha expansión se percibe como “crisis civilizatoria”. Una civilización que no pueda continuar expandiéndose enfrenta la amenaza del colapso: dado que está ejerciendo presión excesiva sobre sus ecosistemas, no podrá sostener toda esa complejidad estructural sin allegarse continuamente de nuevos territorios y poblaciones para explotar. Esto produce una “adicción al expansionismo”, donde la disyuntiva es crecimiento o colapso. Pero la “huída hacia adelante” nunca podrá resolver el problema: sólo posterga el colapso subiendo de nivel. Los combustibles fósiles y la revolución industrial han permitido a la civilización moderna-capitalista-industrial llevar dicho proceso hasta los límites de la biósfera, con lo que ha generado la crisis ecosocial global, y la inminencia del mayor colapso civilizatorio en la historia de la humanidad.

Como dijo Kenneth Boulding, “quien crea que es posible un crecimiento infinito en un planeta finito, o es un loco o es un economista”. Sin embargo, hay que entender que la causa profunda de esta crisis no es la economía ni el dinero en sí mismos, no es el neoliberalismo ni el capitalismo solamente, éstos serían simplemente la forma particular en que se organiza la civilización moderna. Tampoco serían la ciencia, ni la tecnología o la industrialización: éstas son las herramientas con las que dicho proyecto de dominio ha avanzado pero podrían utilizarse con otros fines. En la diversidad humana, el expansionismo civilizatorio es un camino entre muchos posibles, sin embargo —como describe el principio de Gause o “de la exclusión competitiva”— este tipo de formaciones sociopolíticas han tenido gran éxito en dominar, someter, asimilar, desplazar o exterminar a otros tipos de formaciones sociopolíticas. Este proceso genera una homogeneización (forzada) que se ha interpretado erróneamente como muestra de que “todas las sociedades evolucionan direccionalmente hacia la civilización”. Como he argumentado, la evolución hacia formas más complejas no siempre implica una “mejora” (progreso), las civilizaciones no son inherentemente “más aptas para la supervivencia”: la crisis ecosocial global es la mayor prueba de ello.

Quienes creen que la expansión de la civilización —como creciente dominio sobre la naturaleza y sobre otros humanos— es el único camino de “progreso”, interpretan la crisis ecosocial global como otra “crisis civilizatoria” y buscan fundamentalmente soluciones técnicas: nuevas y más poderosas fuentes de energía, nuevas y más poderosas formas de intervenir la naturaleza, nuevos medios para expandir el dominio territorial (¿más allá de la Tierra?) o para profundizar el control de poblaciones humanas... Grandes cantidades de dinero se están invirtiendo en este tipo de búsqueda: desde la ingeniería genética y la nanotecnología hasta la “geoingeniería” y la “terraformación” de exoplanetas, pasando por la inteligencia artificial, los métodos de *surveillance* y la industria armamentística *hi tech*. Desde esta visión, ante la actual crisis, la única respuesta concebible es incrementar el dominio. No hace falta encontrar documentos ultrasecretos sobre una conspiración para construir un *New World Order* para sospechar que las élites mundiales confían en que la salida se encuentra avanzando más en la misma dirección: las agresivas medidas de reestructuración económico-política global impuestas bajo el argumento neoliberal (y mediante la doctrina del shock) pueden consultarse en los periódicos y están a la vista de todos. Desde mi perspectiva, es demasiada coincidencia que estas medidas se estén impulsando con tal agresividad precisamente a partir de la década de 1970, cuando se presentaron aquellos primeros informes científicos sobre la crisis ecosocial global...

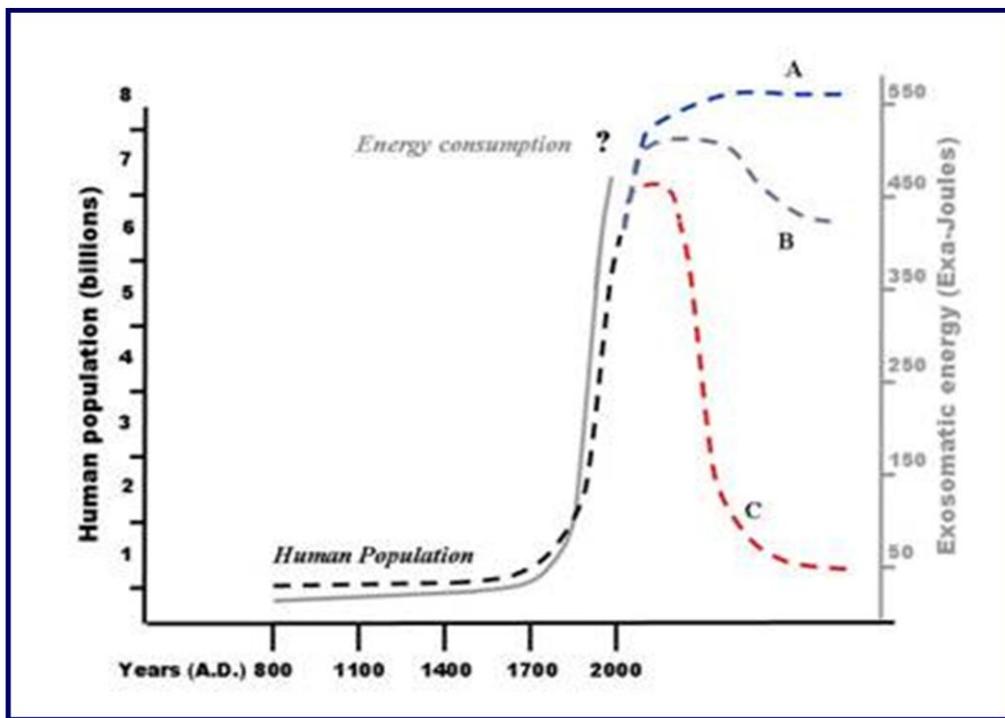
En el otro extremo, algunos confían en que es posible “reformular la civilización”: cambiar el metabolismo urbano-agro-industrial para que no depende de combustibles fósiles sino de energías renovables, detener el crecimiento y el expansionismo y lograr un “crecimiento cero”, superar la desigualdad, la exclusión y la dominación instaurando una civilización basada en la igualdad, la inclusión y la democracia, quizás una “civilización empática” (Rifkin 2010). En su más reciente libro, Naomi Klein (2014) ha hecho una excelente y muy lúcida defensa de este tipo de proyecto. Consciente de que un cambio semejante no vendrá de aquellos sectores sociales que están saliendo beneficiados, Klein hace un conmovedor y esperanzador llamado a todos aquellos que han sido víctimas del

capitalismo (yo diría “la civilización”) o están inconformes con sus resultados a unirse en una batalla final para democratizar desde abajo la civilización y construir un ordenamiento social que realmente nos beneficie y no nos conduzca a la autodestrucción.

Tanto tiranos como libertarios han soñado con lo que podría suceder si los humanos encontraran una forma de acceder a energía infinita: se podría construir una civilización igualitaria y justa (como quería Darcy Ribeiro) o se podría construir el imperio supremo. Hoy en día ambas ideas parecen fuera de la realidad. De igual manera, podemos imaginar un “imperialismo sustentable” (un ordenamiento civilizatorio que, sin dejar de ser una estructura piramidal de dominio y acumulación asimétrica, supere su adicción al expansionismo) o una civilización democrática, igualitaria y sustentable. Con la (insuficiente) información que he podido consultar hasta ahora, me parece que estas dos opciones también pueden estar fuera de la realidad. Si de por sí los niveles actuales de consumo de recursos (energéticos y materiales) están por encima de la biocapacidad global —son insustentables— pretender que toda la población mundial acceda a una forma de vida “de primer mundo” (clase media) es una locura. Creer que podremos simplemente sustituir el petróleo por “energías limpias y renovables” tampoco parece posible. Como dice Mario Giampietro, sería como intentar salvar a un elefante con un trasplante de corazón urgente, cuando lo único que hay disponible es un corazón de ratón. Incluso los niveles actuales de consumo de recursos (que para amplios sectores de la población son insuficientes) no podrán mantenerse sin petróleo.⁹⁷ Sumémosle la imposibilidad de acceder a nuevos ecosistemas (ya no hay más continentes que conquistar) y el anhelo de eliminar el

⁹⁷ Klein hace un buen análisis de fuentes de dinero (p. ej. eliminando el enorme gasto militar o tomando las enormes ganancias de las trasnacionales petroleras, identificadas como causantes de grandes daños a poblaciones, etc.) que pueden usarse para impulsar la necesaria transición productiva-energética, sin embargo, los datos a los que yo he tenido acceso no me hacen tan optimista sobre el poder de las energías renovables para sustituir al petróleo y mantener los niveles actuales de consumo de energía.

trabajo esclavo y la explotación⁹⁸, y la “civilización buena” morirá por inanición y asfixia. Es cierto que “cosas que eran ciencia ficción en el tiempo de nuestros abuelos hoy son una realidad”, pero me da la impresión de que la misma idea de una “Razón” todopoderosa y la excesiva confianza en el dominio tecnocientífico de la materia y la naturaleza nos hacen confiar demasiado en las soluciones técnicas. Podemos poner todas nuestras esperanzas en un milagro tecnológico así como podemos esperar que una civilización extraterrestre venga a salvarnos, o podemos buscar soluciones con los elementos que ya tenemos a la mano.



Demografía humana y consumo energético en distintos escenarios posibles para el nuevo milenio.

Considerando nuevamente esta gráfica, parece que las fuentes de energía alternativa podrían sostener niveles poblacionales y de consumo energético menores a los actuales, pero mayores a los que había en el siglo XIX. Como he

⁹⁸ Como analiza la misma Klein (2014), la abolición de la esclavitud en EU puso en jaque a todo el sistema productivo, hizo falta invertir esfuerzo y energía en reestructurarlo.

mostrado a lo largo de los tres capítulos, tenemos abundantes ejemplos de lo que ocurre con los sistemas disipativos en situaciones de reducción del input de energía: o logran re-estabilizarse en un estado metaestable de menor disipación (que sea sostenible con los inputs disponibles) o colapsan y se desintegran. Es posible imaginar formas democráticas de “decrecimiento” (como dice Serge Latouche), e incluso un “*prosperous way down*” (Odum y Odum 2008), así como es posible imaginar formas desastrosas de reducción del consumo incluyendo guerras y genocidio (como veíamos con Adams). Ante “problemas menores” —en comparación con la crisis actual— se han utilizado ya este tipo de respuestas, no sería nada sorprendente que haya nuevos planes de “solución final” como decía Hitler (con “mejor” tecnología) o incluso que ya estén implementándose...

Solucionar la adicción al petróleo y aportar nuevos inputs al metabolismo urbano-agro-industrial no es todo el problema. Los ecosistemas están seriamente deteriorados, la contaminación de aire, mar y tierra es alarmante (pese al silencio mediático las consecuencias de Fukushima serán catastróficas), la extinción de especies (que inevitablemente se profundizará en este siglo), la desestabilización climática (el fin del Holoceno), la pérdida de conocimientos y tecnologías productivas que no dependen del petróleo o la industrialización, la pérdida de variedades genéticas simbióticas (plantas, animales, microorganismos, etc.) que se desarrollaron en el largo proceso de coevolución humana, la disolución de comunidades locales y la desarticulación de redes de intercambio local (dependencia de transportes a larga distancia): todo esto nos llevará a escenarios sumamente difíciles incluso sin considerar los potencialmente devastadores efectos de una intensificada guerra por los recursos naturales.

Lo que observamos actualmente (y observaremos en este siglo) sigue la línea de lo que expuse al discutir el principio de Gause. El principio de exclusión competitiva —que describe la forma en que, en un contexto de competencia por la supervivencia, variedades maximizadoras pueden desplazar e incluso orillar a la extinción a sus competidores— no describe una tendencia general para la evolución biológica sino una dinámica que puede presentarse bajo ciertas circunstancias: cuando hay abundancia de recursos y las poblaciones se

encuentran lejos de topar con los límites de la biocapacidad (fases de crecimiento acelerado). Como argumenté, una vez alcanzados los límites al crecimiento, la ventaja competitiva ya no será para los maximizadores. De hecho, en un escenario de recursos limitados, las variedades más complejas y con mayores requerimientos en términos de inputs energéticos y materiales, serán las más vulnerables y las primeras en colapsar. Las poblaciones que dependen de insumos de “alta energía” y “alta tecnología” (alta complejidad), muchos intermediarios, transporte de larga distancia, etc. —las poblaciones urbanas— enfrentarán situaciones de vulnerabilidad extrema. Como ha sucedido ya muchas veces en la historia de las civilizaciones, los “centros” civilizatorios no podrán mantenerse intactos. Conforme este proceso avance, veremos enormes oleadas migratorias saliendo desde las ciudades en busca de alimento y agua, lo cual conducirá a escenarios de intensa conflictividad social a menos de que se prepare el proceso.

Como expuse, variedades más simples (con menores requerimientos en términos de inputs energético-materiales) que hayan sobrevivido en intersticios marginales del ambiente pasarán a tener ventaja adaptativa en escenarios de escasez de recursos. Aquellas poblaciones que hoy en día pueden sobrevivir en regiones alejadas de los centros urbanos, sin necesidad de grandes inputs energético-materiales venidos de ecosistemas externos, que pueden cubrir sus necesidades básicas sin depender de la civilización o de complicadas tecnologías, tendrán evidentes ventajas adaptativas. Poblaciones que conserven conocimientos y formas de vida que permiten vivir directamente de la agricultura, pastoreo, pesca, recolección y/o cacería, utilizar medicina tradicional, fabricar herramientas, utensilios y viviendas con los materiales disponibles en su entorno inmediato, tendrán toda la ventaja sobre los migrantes exiliados de las colapsantes megalópolis. Obviamente, regiones con mayor abundancia de ecosistemas saludables presentarán mejores perspectivas para la supervivencia, pero su ubicación será difícil de predecir dados los profundos cambios climáticos venideros en la desestabilizada biósfera post-Holoceno. Sin embargo, más allá de las previsibles disputas por el control y aprovechamiento de estas regiones,

aquellas poblaciones que sepan sobrevivir en ambientes de baja productividad y alta variabilidad serán los “más aptos para la supervivencia”.

Es posible que, durante algún tiempo, regiones privilegiadas puedan sostener formas de supervivencia basadas en el control de los últimos yacimientos de energía fósil (o nuclear), pero —según el presente análisis— no serán estas variedades las que tengan las mayores probabilidades de sobrevivir. En otros lugares, aunque no haya disponibilidad de energía barata, es posible que se restablezcan sistemas productivos de agricultura con uso de tracción animal, ahí donde haya suelos aptos, climas adecuados, gente con conocimientos y variedades de plantas y animales adecuadas. En otros lugares, la única opción disponible será agricultura de baja eficiencia con uso exclusivo de trabajo humano. En otros lugares, la única opción para la supervivencia serán formas variables de caza, pesca y recolección. Por último, habrá regiones en las que no haya formas de obtener alimento. Dependiendo de una serie de acontecimientos que ocurrirán en las siguientes décadas, la profundidad de la crisis ampliará o disminuirá las probabilidades diferenciales de supervivencia bajo estas diferentes modalidades. Mientras cualquiera de estas variedades encuentre lugares para seguir adelante, lo que he descrito como “el verdadero progreso” para los grupos humanos seguirá siendo posible. Tal y como expuse en otros casos de crisis ecológica-evolutiva, lo que observaremos será una más o menos profunda “regresión” —“poner el reloj a cero”—, dependiendo de la profundidad de la perturbación-catástrofe, el verdadero progreso se reanudará desde diferentes puntos.

El avance del “progreso” civilizatorio —expansionismo, complejización, maximización del consumo energético, etc.— ha ido en contra del progreso ecosistémico: llevando ecosistemas de alta productividad a baja productividad, de alta diversidad a baja diversidad, de estados de “madurez” a estados de “inmadurez”, etc. Con ello, ha destruido las condiciones de su propia continuidad. La plasticidad cerebral del *Homo sapiens demens* le ha permitido una asombrosa variedad de innovaciones y experimentos, algunos de los cuales han sido “demasiado exitosos” y han desestabilizado los ecosistemas de los que como heterótrofo depende. Si la biosfera en conjunto evoluciona hacia estabilizar el

clima, el “progreso” civilizatorio ha avanzado en la dirección contraria. Pero este proceso no era inevitable, ni es la única estrategia que los humanos pueden utilizar. En los adversos escenarios que enfrentaremos en las próximas décadas, nuestra capacidad de supervivencia tendrá mucho que ver con nuestra capacidad de modificar nuestra visión del mundo. Quienes se aferren al dogma civilizatorio y apuesten todos sus recursos a las soluciones de alta complejidad, alta energía, alta tecnología, etc. tienen altas probabilidades de perderlo todo. Quienes sigan creyendo que hay un camino único en vez de abrirse a la diversidad de estrategias posibles, tienen todas las probabilidades de perder la apuesta.

Sin embargo hay que entender que, contra lo que los ideólogos pro-civilización nos han dicho siempre, abandonar la civilización no significa abandonar la posibilidad de hacer ciencia, desarrollar tecnología, arte, cultura, etc. Abandonar la civilización no implica necesariamente “regresar a las cavernas”. ¿Es posible hacer ciencia sin dominación? Sostengo que sí. ¿Es posible desarrollar tecnología sin dominación? Sostengo que sí. El hecho de que creamos que sin dominación de unos sobre otros no es posible vivir debe reconocerse como un impresionante logro de los ideólogos de la civilización. Han logrado construir no sólo una elaborada visión del mundo que lo sustenta, sino sucesiones de visiones del mundo que han mantenido su continuidad a lo largo de los siglos. Yo argumento lo contrario: aferrarnos a la civilización sí nos puede llevar “de regreso a las cavernas”: mientras más nos aferremos en continuar con la misma estrategia, más profundizaremos la crisis, y menos recursos y probabilidades tendremos para sobrevivir.

Desde el análisis que aquí he planteado, la vida humana no se sostiene mejor basada en la dominación sino basada en la autonomía. Las poblaciones exodeterminadas no son capaces de decidir autónomamente y no pueden desarrollar su proceso natural de aprendizaje que incluye de manera fundamental aprender a no rebasar la biocapacidad ni destruir los ecosistemas de los que se alimentan. Fortalecer la autonomía de las comunidades implica desbloquear su posibilidad de aprendizaje, y eso es precisamente lo que necesitamos urgentemente en la actualidad. No es una garantía de éxito: en la diversidad,

muchas posibilidades fracasarán. La diversidad de estrategias es una de las mejores apuestas que podemos hacer.

La crisis actual no es sólo "civilizatoria": amenaza la continuidad de la vida de todos los grupos humanos y de muchas otras formas de vida en el planeta (sexta extinción de las especies). Ya no es posible continuar con la estrategia de "huída hacia adelante": ya no hay a donde expandirse, hemos rebasado los límites planetarios y la fantasía de abandonar la Tierra para conquistar el espacio exterior es un delirio con potencial suicida. Argumento que la verdadera salida, por lo tanto, no será "civilizatoria": las verdaderas alternativas están en formas-de-entender-el-mundo y formas-de-habitar-el-mundo que no se construyen en torno al ideal de "expandir la dominación" sino a ideales de coexistencia diferentes: reciprocidad, Buen Vivir, horizontalidad, autonomía, beneficio mutuo, simbiosis... Contra el ideal del dominio (excluyente) de "los más fuertes", el ideal de la articulación (incluyente) de los diferentes: la diversidad es clave para la continuidad de la Vida y —especialmente en los momentos de crisis— los "pequeños" y "simples" resultan más capaces de sobrevivir en escenarios cambiantes y de energía decreciente.

Autores como Víctor M. Toledo y Narciso Barrera-Bassols (2008), Leonardo Tyrtania (2009) y Eckart Boege (2008) entre muchos otros, nos ofrecen importantes *insights* para comprender que la diversidad cultural (en términos cosmológicos, epistémicos y de prácticas) es también la clave de la supervivencia. En vez de plantear la diversidad cultural y epistémica como un problema (como se hace desde el pensamiento occidental moderno que se pretende verdad única), podemos así concebir la diversidad como el estado natural y deseable. Como argumentaré, una epistemología biocéntrica también permite entender mejor la posibilidad de diálogo entre diferentes (contra el solipsismo y la inconmensurabilidad del relativismo culturalista) un aspecto fundamental para esta política de la diversidad. En términos de organización social, la búsqueda de sistemas sociales que se basen en la comunidad, la diversidad y la horizontalidad no parece ya solamente una utopía romántica sino la estrategia de supervivencia más viable ante los escenarios que se avecinan. Aportar argumentos científicos

(desde la antropología, la ecología, la teoría evolucionista y la termodinámica) es el propósito último de esta tesis. Esto es, pues, avanzar en la fundamentación teórica y filosófica de una postura decididamente anticapitalista, anti-imperialista y anticolonialista, una política de la diversidad biocultural como respaldo a las luchas por la autonomía, la emancipación y el respeto a la diferencia de los pueblos indígenas. Reconociendo la enorme importancia de sus saberes y prácticas tradicionales y planteando la necesidad de defenderlos, hay que reconocer a los llamados pueblos indígenas como actores sociales fundamentales en la conservación de la biodiversidad y de la Vida.

Vivimos tiempos cruciales. La crisis ecosocial global marcará, inevitablemente, un punto de inflexión en la historia de la humanidad cuyas consecuencias últimas son difíciles de pronosticar. Por otro lado, cada vez más personas reconocen que nos encontramos en medio de una enorme revolución científica. Algunos la comparan con aquella que dio origen al proyecto científico de la modernidad en el siglo XVI. Considerando que la cosmovisión dualista y el patrón de expansionismo civilizatorio son mucho más antiguos que esto, la revolución actual podría ser incluso más profunda que la que dio origen al mundo moderno. Por varios frentes, la visión mecanicista del universo, la comprensión mecanicista de la Vida, y toda la construcción simbólica, ética y programática que de ella se desprende está siendo abandonada. ¿Estaremos a tiempo de cambiar el rumbo hacia una nueva forma de pensar y de vivir en la que sanen nuestras relaciones con la Naturaleza y entre nosotros mismos?

Como mostré, la idea de la dominación de la naturaleza está tan arraigada en la cosmovisión occidental que literalmente define los ejes básicos con que trazamos nuestro mundo conceptual. La división entre *res cogitans* y *res extensa* tiene una influencia tan amplia y profunda que ya ni siquiera la notamos. Cuestionar el proyecto de dominación de la naturaleza implica cuestionar los cimientos mismos de nuestra visión del mundo. La cosmología occidental ha sido funcional para sostener y articular un enorme proceso de expansionismo militarista, identificando el avance civilizatorio y el “progreso” con la creciente dominación del otro (humano y no-humano). Su éxito como doctrina civilizatoria

explica también su amplia difusión y enorme influencia sobre el mundo actual. Para pensar proyectos que no apunten en esta dirección, es necesario cuestionar dicha cosmología desde la raíz. La revolución científica que está actualmente sucediendo, podría ser, por lo tanto, mucho más profunda que la que dio origen a la ciencia moderna, pues como sostengo, la crisis actual y la evidencia disponible en un amplio abanico de ciencias revolucionarias cuestionan esa dicotomía fundamental que ha sido heredada desde tiempos premodernos.

Romper con la idea de que el avance hacia mayor complejidad y mayor dominio es el único camino, va de la mano de romper el monólogo científico en el que se asume que el materialismo ateo es la única cosmovisión válida y racional. Como he mostrado, la cosmovisión materialista atea de la modernidad tardía tiene sus raíces en el pensamiento judeocristiano, sus fundamentos son igual de mitológicos e indemostrables que los del teísmo o el panteísmo-animismo: aunque haya gran resistencia para reconocer esto, la cosmovisión materialista-atea no es ni más racional ni más verdadera que otras alternativas. Es posible hacer ciencia desde marcos teístas (como defiende Hans Küng y como muestran todos los “padres de la ciencia”, que eran abiertamente teístas) y —como argumenté— es posible hacer ciencia también en marcos animistas y panteístas.

Abrir el diálogo a la pluralidad de visiones no implica necesariamente caer en los absurdos inmovilizadores del relativismo posmoderno. El marco que he presentado sienta las bases de una epistemología biocéntrica, en la que la “construcción social de la realidad” no flota libremente en el vacío sino que está sostenida por una más antigua y abarcadora “construcción biológica de la realidad”. Lo anterior brinda una base compartida para todos los miembros de nuestra especie, y aún más allá, compartiendo ciertos elementos con otras especies también. Los seres vivos habitan realidades “construidas”, sí, pero dicha construcción está anclada en la historia filogenética y ontogenética de cada organismo y no se produce en el vacío. Sin necesidad de recaer en los conocidos errores del realismo ingenuo y del objetivismo positivista, es posible construir una epistemología constructorista que, tomando como punto de referencia al ser vivo en interacción con su ambiente, puede evitar al mismo tiempo el abismo del

solipsismo y el error del representacionismo, “caminando al filo de la navaja” como decían Maturana y Varela. Con este marco conceptual y filosófico es posible reanudar el diálogo de saberes y la investigación científica desde una perspectiva multicultural, cuestión que es absolutamente urgente en el contexto de crisis que enfrentamos.

No es necesario que gastemos nuestros esfuerzos en intentar convencer a nadie de principios indemostrables —ni mucho menos que emprendamos guerras por esa razón—. En una veta muy kantiana, Berger y Luckmann mostraban que los niveles más abstractos de toda cosmovisión (o “universo simbólico” como ellos le llamaban) son indemostrables, tienen la función de dar coherencia al conjunto pero no pueden ser empíricamente demostrados ni refutados. Se trata de cuestiones que en gran medida se resuelven como decisiones personales, muchas veces afiliándonos a tradiciones y manteniéndonos dentro de lo que es familiar para nuestros grupos culturales. Las discusiones más fructíferas y relevantes no están en este nivel, sino en aspectos mucho más concretos que sí podemos discutir con base en evidencias empíricas. Ateos, teístas y panteístas pueden dialogar sobre las evidencias que hoy tenemos que nos indican que el proyecto de dominar la naturaleza nos está llevando al borde de la autodestrucción. ¿Es posible para un materialista-ateo reconocer que la naturaleza no es dominable y que la inteligencia no es omnipotente? Definitivamente sí, muchos ateos conscientes lo demuestran. ¿Es posible que desde un marco teísta-judeocristiano se cuestione el antropocentrismo radical y la idea de que la naturaleza es desechable y sólo importa el “más allá”? Definitivamente sí, el trabajo de Leonardo Boff o la encíclica *Laudato sí* del papa Francisco lo demuestran. Como he sugerido ya, personalmente encuentro importantes coincidencias entre los planteamientos de diversas ciencias contemporáneas y las visiones animistas-panteístas que resultan familiares para muchos pueblos alrededor del planeta. Sin embargo, no es necesario convertirse en panteísta para comprender que, por nuestro propio beneficio como humanos, es indispensable cuidar de la continuidad de toda la red de seres vivos de la que

formamos parte: la crisis ecosocial global nos muestra de manera tajante que los intereses “egoístas” y “holistas” son, a fin de cuentas, inseparables.

La crisis ecosocial global es, en el mejor de los casos, una fuente abundante de aprendizaje que nos impulsa a modificar nuestra forma de habitar el planeta. Dicho aprendizaje implica modificar algunos de los supuestos más básicos y fundamentales con los que hemos entendido el mundo, a nosotros mismos y el lugar que ocupamos en él. Si no somos capaces de cuestionar dichos planteamientos y nos aferramos dogmáticamente a las ideas que nos han encaminado hacia el precipicio, ya sabemos hacia donde nos dirigimos. Hay una gran cantidad de personas y grupos humanos alrededor del planeta que están dándose cuenta de todo esto, y algunos de ellos lo sabían desde hace mucho. Lo que me he propuesto en este trabajo es presentar argumentos científicos que respaldan sus posiciones. Es necesario abrir el diálogo de manera urgente, considerar proyectos verdaderamente alternativos. Si la civilización —entendida como proyecto de dominación expansionista— es la causa de esta enorme crisis, la solución no será “civilizatoria”. Hay que mirar con nuevos ojos la diversidad de proyectos humanos que están más allá de la civilización. En toda crisis ecológica la diversidad es la clave de la supervivencia. Debemos fomentar una diversidad de estrategias y no centrarnos en un camino único que demostradamente nos conduce hacia la catástrofe. Contra lo que los ideólogos de la dominación nos han asegurado, sí hay posibilidad de progreso fuera de la civilización: la ciencia, el avance tecnológico, el arte, el comercio, la comodidad, la seguridad, y muchas cosas más que nos han dicho que sólo existen dentro de la civilización pertenecen en realidad a la diversidad humana. Las evidencias nos indican que proyectos basados en la autonomía, la reciprocidad, la eficiencia con bajos requerimientos, la diversidad y la integración funcional como parte de los ecosistemas de los que obtenemos lo necesario para vivir, son las mejores apuestas que podemos hacer en el contexto de la actualidad. La plasticidad de nuestros cerebros —que con tanto orgullo portamos— nos ha permitido innovar en muchas cosas, no todas ellas positivas, algunas verdaderamente demenciales. ¿Seremos capaces de

aprender una profunda lección a partir de la presente crisis? Nunca antes habíamos tenido tantos recursos para lograrlo. El siglo XXI guarda la respuesta.

Bibliografía

- Adams, Richard N. (2001) *El octavo día. La evolución social como autoorganización de la energía*. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana-I.
- (2007) *La red de la expansión humana*. [1978] México, DF: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social/ Universidad Autónoma Metropolitana-I/ Universidad Iberoamericana.
- Aguirre Rojas, Carlos Antonio (1986) “Hacer la historia, saber la historia: entre Marx y Braudel”, en *Cuadernos Políticos*, número 48, octubre-diciembre, 1986, pp.45-72. México DF: Era.
- Andrews, Louis (2003) “Social Darwinism. The development of an intellectual mood” en *The Occidental Quarterly* Vol 3. No. 1 Spring
- Anguita Virella, Francisco y Castilla Cañamero, Gabriel (2003) *Crónicas del Sistema Solar*, España: Sirius
- Aragón Loranca, Guillermo (2011) “Contenido y alcances del desarrollo sustentable” en Alberto Conde Flores, Pedro Antonio Ortiz Báez, Alfredo Delgado Rodríguez, Francisco Gómez Rábago, Luis Roberto Granados Campos(coords) *Memoria del Primer Congreso Nacional Naturaleza-Sociedad*, México: Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- de Asúa, Miguel (2009) *De cara a Darwin. La teoría de la evolución y el cristianismo*. Argentina: Lumen.
- Atlan, Henri (1995) “Finalidades poco comunes”, en: Lovelock, James, G. Bateson, L. Margulis, H. Atlan, F. Varela, H. Maturana et al. (1995) *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós, pp. 107-123.
- Bateson, Gregory (1979) *Espíritu y naturaleza*. Amorrortu
- Beck, Ulrich (1994) *La Sociedad del Riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Piados
- Benhabib, Seyla (2006) *Las reivindicaciones de la cultura. Igualdad y diversidad en la era global*. Buenos Aires: Katz.

- Berger, Peter & Thomas Luckmann (1966) *La Construcción Social de la Realidad*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Bertalanffy, Ludwig von (1976) *Teoría general de los sistemas*. México: FCE
- Betancourt Posada, Alberto; Efraín Cruz Marín y Jessica Arellano López (2010) "Murmullo de sueños. Historia de la ciencia, diversidad epistémica y conservación de la biodiversidad: estudios de caso sobre las áreas naturales protegidas de México (1993-2009)" en Betancourt (coord) *Del monólogo a la polifonía. Alternativas comunitarias para la gestión de la biodiversidad en áreas naturales protegidas*. México: Ce-Acatl.
- Biblia de Jerusalén (1999) Bilbao: Desclée de Brouwer.
- Boege, Eckart (2008) *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia/ Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Bonner, J. T. (1988) *The Evolution of Complexity*, Princeton: Princeton University Press
- Capra, Fritjof (1982) *The Turning Point*. Nueva York: Simon & Schuster. (Edición en español: *El punto crucial*, Barcelona: Integral)
- (1996) *The Web of Life*. Nueva York: Anchor/Doubleday. (Edición en español: *La trama de la vida*. Barcelona: Anagrama)
- (2002) *El tao de la física*. [1975] Málaga: Sirio.
- (2003) *Las conexiones ocultas. Implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo*. Barcelona: Anagrama.
- Castro Herrera, Guillermo (1994) *Los trabajos de Ajuste y Combate. Naturaleza y Sociedad en la Historia de América Latina*. Cuba: Casa de las Américas.
- Cerejido, Marcelino (2011) *Hacia una teoría general sobre los hijos de puta. Un acercamiento científico a los orígenes de la maldad*. México: Tusquets
- Childe, V. Gordon (1974) [1936] *Los orígenes de la civilización*. México: FCE
- Chomsky, Noam (1997) "Democracia de mercado en un orden neoliberal: doctrina y realidad" Conferencia Davie, Parte I, Universidad de Ciudad del Cabo, Mayo 1997 Disponible *on line* en: <http://firgoa.usc.es/drupal/node/30182>
- Corning, Peter (2005) *Holistic Darwinism: Synergy, Cybernetics, and the Bioeconomics of Evolution*. USA: University of Chicago Press
- Cuche, Denys (2002) *La noción de cultura en las ciencias sociales*. Buenos Aires: Nueva Visión, Colección Claves.
- DeLong, John P. (2008) "The maximum power principle predicts the outcomes of two-species competition experiments" en *Oikos* 117; pp: 1329-1336
- Darwin, Charles (1983) *El origen de las especies* [1859]. Barcelona: Librería Reseña.

- Dawkins, Richard (1993) *El gen egoísta*. Barcelona: Salvat
- Descola, Phillipe (2002) *Antropología de la naturaleza*. Lima: Instituto Francés de Estudios Andinos y Lluvia Editores.
- Dewar, R. C. (2004) "Information Theory Explanation of the Fluctuation Theorem, Maximum Entropy Production, and Self-Organized Criticality in Nonequilibrium Stationary States", en *J. Phys.* A36, pp. 631-641.
- Diamond, Jared (2006) *Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*. España: Debate.
- Díaz Cruz, Rodrigo (1991) "Los hacedores de mapas: antropología y epistemología. Una introducción", en *Alteridades*, año 1, núm. 1, México, Departamento de Antropología-UAM-I, pp. 3-12
- Dove, Michael R. and Carol Carpenter (Eds.) (2008) *Environmental Anthropology: A Historical Reader*. Malden, MA/ Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Fernández Durán, Ramón (S/F) *El antropoceno: la crisis ecológica se hace mundial. La expansión del capitalismo global choca con la biosfera*. Disponible on line en: <http://www.rebellion.org/docs/104656.pdf>
- (S/Fb) *La Quiebra del Capitalismo Global: 2000-2030. Crisis multidimensional, caos sistémico, ruina ecológica y guerras por los recursos*. Disponible on line en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article19028.html>
- (2010) *Tercera Piel. Sociedad de la imagen y conquista del alma*. Virus Editorial. Disponible on line en: <http://www.viruseditorial.net/pdf/Tercera%20piel.pdf>
- Flannery, Tim (2007) *El clima está en nuestras manos. Historia del calentamiento global*. Madrid: Taurus.
- Foster, John Bellamy (2002) "Marx's ecology in historical perspective" en *International Socialism*, Issue 96, Winter 2002.
- García Canclini, Néstor (2006) *Diferentes, Desiguales y Desconectados. Mapas de la Interculturalidad*. Barcelona: Gedisa.
- García Leal, Ambrosio (2013) *El azar creador. La evolución de la vida compleja y de la inteligencia*. México, DF: Tusquets.
- Gould, Stephen Jay (2009) *La vida maravillosa*. Barcelona: Crítica.
- Gudynas, E. (2009) La Ecología política del giro biocéntrico en la nueva Constitución de Ecuador. *Revista de Estudios Sociales*, 32: 34-47. Bogotá.
- Guha, Ramachandra (1994) "El ecologismo de los pobres", en Joan Martínez Alier (coord.) *Ecología Política 8. Cuadernos de debate internacional*. Barcelona: Icaria.
- Hall, C. (ed.) (1995) *Maximum power: the ideas and applications of H. T. Odum*. Univ. Press of Colorado

- Harris, Marvin (1998) *Introducción a la antropología general*. Madrid: Alianza Editorial.
- Herrmann-Pillath, Carsten (2013) *Foundations of Economic Evolution. A Treatise on the Natural Philosophy of Economics*. Cheltenham, UK/ Northampton, MA: Edward Elgar.
- International Geosphere-Biosphere Programme [IGBP] (2004) *Global Change and the Earth System: A planet under pressure*. Disponible on line en: http://www.igbp.net/documents/IGBP_ExecSummary.pdf
- Jablonka, Ewa & Lamb, Marion J. (2005) *Evolution in four dimensions. Genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life*. Cambridge: MIT Press
- Jonas, Hans (2000) *El principio vida. Hacia una biología filosófica*. Valladolid: Trotta
- Karnani, Mahesh y Annila, Arto (2009) "Gaia again" en *BioSystems* 95; pp. 82-87; Ireland: Elsevier
- Klein, Naomi (2007) *The Shock Doctrine: The Rise of Disaster Capitalism*, New York: Picador
- (2014) *This Changes Everything. Capitalism vs. the Climate*. New York: Simon & Schuster.
- Kleidon, Axel (2004) "Beyond Gaia: Thermodynamics of Life and Earth System Functioning" en *Climatic Change* 66; pp. 271-319 Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Krotz, Esteban (2002) *La otredad cultural entre utopía y ciencia. Un estudio sobre el origen, el desarrollo y la reorientación de la antropología*. México: Fondo de Cultura Económica/Universidad Autónoma Metropolitana-I.
- Küng, Hans (2007) *El principio de todas las cosas. Ciencia y religión*. Madrid: Trotta.
- Kuhn, T. (1962) *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica
- Leakey, Richard & Roger Lewin (1997) *La sexta extinción. El futuro de la vida y la humanidad*. Barcelona: Tusquets.
- Lomas, P. L.; Di Donato, M. & Ulgiati, S. (2007) "La síntesis emergética: una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica" en *Ecosistemas* 16 (3); pp 37-45
- Lotka, Alfred J. (1925) *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams & Wilkins Co.
- (1922) "Contribution to the energetics of evolution", en *Biology* Vol. 8 pp.147-151
- (1945) "The Law of Evolution as a Maximal Principle", en *Human Biology* Vol. 17, No. 3; pp. 167-194

- Lovelock, James (1995) "Gaia: un modelo para la dinámica planetaria y celular", en: Lovelock, James, G. Bateson, L. Margulis, H. Atlan, F. Varela, H. Maturana et al. (1995) *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós, pp. 80-94.
- (2007) *La venganza de la Tierra. La teoría de GAIA y el futuro de la humanidad*. Barcelona: Planeta.
- Mann, Michael E., Zhihua Zhang, Malcolm K. Hughes, Raymond S. Bradley, Sonya K. Miller, Scott Rutherford, and Fenbiao Ni (2008). "Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 105, No. 36, pp. 13252-13257, September 9, 2008. doi:10.1073/pnas.0805721105. Disponible *on line* en: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/mann2008/mann2008.html>
- Marcos, Alfredo, "Figuras contemporáneas de la teleología". Disponible *on line* en: www.fyluva.es/-wfilosof/webMarcos
- Margalef, Ramón (1968) *Perspectives in ecological theory*, Chicago: Chicago University Press
- Margulis, Lynn (1995) "La vida temprana: Los microbios tienen prioridad", en: Lovelock, James, G. Bateson, L. Margulis, H. Atlan, F. Varela, H. Maturana et al. (1995) *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós, pp. 95-106.
- Margulis, Lynn y Sagan, Dorion (2009) *¿Qué es la vida?* Barcelona: Tusquets.
- Martínez-alier, Joan (1991) "Ecology and the Poor: A Neglected Dimension of Latin American History" en *Journal of Latin American Studies*, Vol. 23, No. 3. (Oct., 1991), pp. 621-639. Disponible *on line* en : <http://links.jstor.org/sici?sici=0022-216X%28199110%2923%3A3%3C621%3AEATPAN%3E2.0.CO%3B2-3>
- Marx, Karl (1964) *El Capital. Crítica de la economía política*. [1867] México: Fondo de Cultura Económica.
- (1975) [1859] *Contribución a la crítica de la economía política, Obras Escogidas de Marx y Engels*, Madrid, Editorial Fundamentos
- Maturana, Humberto y Francisco J. Varela (1984) *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano*. Santiago de Chile: Lumen, Editorial Universitaria.
- McNeill, J. R. & William H. McNeill (2003) *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*. New York: W.W. Norton & Company.
- McShea, Daniel W. (1991) "Complexity and Evolution: What Everybody Knows" en *Biology and Philosophy* 6; pp. 303-324; Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Monod, Jacques (1970) *El azar y la necesidad*. Barcelona: Tusquets.

- Morin, Edgar (1973) *El paradigma perdido. Ensayo de bioantropología*, Barcelona: Kairós
- (2006) *Breve historia de la barbarie en Occidente*. Argentina: Paidós.
- Musser, Mark (2009) "Evolution as subversive science: the divorce between theology and science has left us with subversive scientism" Disponible on line en: <http://www.rmarkmusser.com/Subversive%20Evolution.pdf>
- (2009b) "Social darwinism and the call of the wild: the antisemitism of nazi political ecology" Disponible on line en: <http://www.rmarkmusser.com/nazi.asp>
- National Oceanic and Atmospheric Administration-National Geophysical Data Center [NOAA-NGDC] (1998), *Stable Lights and Radiance Calibrated Lights of the World CD-ROM*. Boulder, Colorado, USA: NOAA-NGDC.
- http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=183&theme=4
- Odum, Eugene P. (1971) *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders Co.
- (1987) *Ecología. El vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*. México: CECOSA.
- Odum, Howard T. y Odum, Elizabeth C. (1981) *Hombre y Naturaleza: bases energéticas*. Barcelona: Ediciones Omega
- (2008) *A Prosperous Way Down: Principles and Policies*. Colorado University Press
- Odum, Howard T. y Pinkerton, R.C. (1995) "Time's speed regulation: The optimum efficiency for maximum output in physical and biological systems" en *American Scientist* 43, pp. 331-343
- Ostrom, Elinor (2011) *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México/ Fondo de Cultura Económica.
- Prigogine, Ilya (2008) *Las leyes del caos*. Barcelona: Crítica.
- (2009) *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets.
- Rappaport, Roy A. (1987) *Cerdos para los antepasados. El ritual en la ecología de un pueblo en Nueva Guinea [1968]* Madrid: Siglo XXI.
- Reale, Giovanni & Dario Antiseri (1995) *Historia del pensamiento filosófico y científico*. Tomo tercero. Barcelona: Herder.
- Rensch, B. (1960) *Evolution above the Species Level*, New York: Columbia University Press
- Ribeiro, Darcy (1976) *El proceso civilizatorio. De la revolución agrícola a la termonuclear*. México, DF: Extemporáneos.

- Rifkin, Jeremy (2010) *La civilización empática: la carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*. Editorial Planeta
- Rifkin, Jeremy y Howard, Ted (1980) *Entropy: a new world view* Bantam Books
- Roberts, Neil (2014) *The Holocene: An Environmental History*. Oxford, UK: Wiley Blackwell.
- Rollinat, Robert (2004) “El nuevo orden imperialista en perspectiva” en Ana Alicia Solís de Alba, Max Ortega, Abelardo Mariña Flores y Nina Torres (coords.) *Imperialismo, crisis de las instituciones y resistencia social*. México: Ítaca.
- Rosas, Alejandro (2008) “Kant y la ciencia natural de los organismos”, *Ideas y Valores* No. 137, Bogotá, Colombia, pp. 5-23.
- Salthe, S. N. (2010) “Maximum Power and Maximum Entropy Production: Finalities in Nature”, *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*, Vol. 6, No. 1. Disponible on line en: www.cosmosandhistory.org
- Santamarina Campos, Beatriz (2006) *Ecología y poder. El discurso medioambiental como mercancía*. Madrid: Catarata.
- Sahlins, Marshall (2011) *La ilusión occidental de la naturaleza humana*. México, DF: Fondo de Cultura Económica.
- Schaeffer, Jean Marie (2009) *El fin de la excepción humana*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica
- Schneider, Eric D. y Dorion Sagan (2008) *La termodinámica de la vida. Física, cosmología, ecología y evolución*. México: Tusquets.
- Schrödinger, Erwin (2012) *¿Qué es la vida?* [1944] México, DF: Tusquets.
- Sciubba, Enrico (2011) “What did Lotka really say? A critical reassessment of the ‘maximum power principle’” en *Ecological Modeling* 222; pp: 1347-1353
- Sciubba, Enrico; and Zullo, Federico (2011) “Exergy based population dynamics: a thermodynamic view of the sustainability concept” en *Journal of Industrial Ecology* Vol. 15, Issue 2, pp: 172-184
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2010), *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3*. Disponible on line en: www.cbd.int/GBO3
- (2006) *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 2*. Disponible on line en: www.cbd.int/GBO2
- Sperber, Dan y Bloch, Maurice (2002) “Kinship and Evolved Psychological Dispositions. The Mother’s Brother Controversy Reconsidered.” *Current Anthropology* 43 (5): 723-748
- Steward, Julian H. (2008) “The Great Basin Shoshonean Indians: An Example of a Family Level of Sociocultural Integration”, en Dove, Michael R. and Carol Carpenter (Eds.) *Environmental Anthropology: A Historical Reader*. Malden, MA/ Oxford, UK: Blackwell Publishing.

- Thuillier, Pierre (1990) *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*. Madrid: Alianza
- Todorov, Tzvetan (1988) *La Conquista de América. El problema del otro*. México, Siglo XXI.
- Toledo, Víctor M. y Barrera-Bassols, Narciso (2008) *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria.
- Tyrtonia, Leonardo (2009) *Evolución y sociedad. Termodinámica de la supervivencia para una sociedad a escala humana*. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana-I/ Juan Pablos Editor.
- (2007) “Termodinámica para la supervivencia para la sociedad humana”, Prólogo a Adams, Richard *La red de la expansión humana*. [1978] México, DF: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social/ Universidad Autónoma Metropolitana-I/ Universidad Iberoamericana.
- (2001) “Presentación” en Adams, Richard N. *El octavo día. La evolución social como autoorganización de la energía*. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana-I.
- Turner, Victor (2002): “Dramas Sociales y Metáforas Rituales”, en *Antropología del Ritual*, México: INAH-CONACULTA.
- Ulanowicz, R. E.; Hannon, B. M. (1987) “Life and the production of entropy” en *Proceedings of the Royal Society, Series B*; vol. 232 pp181-192; Londres.
- Union of Concerned Scientists (2007) *Smoke, mirrors & hot air: how Exxon Mobil uses big tobacco’s tactics to manufacture uncertainty on climate science*. Disponible on line en:
http://www.ucsusa.org/assets/documents/global_warming/exxon_report.pdf
- Varela, Francisco J., Evan Thompson and Eleanor Rosch (1991) *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*. Massachusetts: MIT.
- Washington, Haydn & John Cook (2011) *Climate Change Denial. Heads in the sand*. Reino Unido: Earthscan
- Weber, Max (2003) *La ética protestante y el espíritu del capitalismo* [1903]. Argentina: Distal
- White Jr., Lynn (2007) “Las raíces históricas de nuestra crisis ecológica” [1967] en *Ambiente y Desarrollo* 23 (1): 78 - 86 , Santiago de Chile. Traducción de José Tomás Ibarra, Francisca Massardo y Ricardo Rozzi. Publicado originalmente en inglés en *Science* 155:1203-1207 (1967).
- Wilke, Sabine (2008) “From ‘natura naturata’ to ‘natura naturans’: ‘Naturphilosophie’ and the Concept of a Performing Nature.” en *Interculture* 4: 1-23.
- World Institute for Development Economics of the United Nations University, [UNU-WIDER] (2006) *La Distribución Mundial de la Riqueza de los Hogares*. Disponible on line en: www.wider.unu.edu

World Wide Fund for Nature [WWF] (2010) *Planeta vivo. Informe 2010. Biodiversidad, biocapacidad y desarrollo*. Disponible *on line* en: <http://assets.wwfspain.panda.org/downloads/infoplanetavivo2010.pdf>

Younkins, Edward W. (2002) *Capitalism and Commerce: conceptual foundations of free enterprise*. EU: Lexington Books

Žižek, Slavoj (2010) “El espectro de la ideología” en *Revista Observaciones Filosóficas*, disponible *on line* en: <http://www.observacionesfilosoficas.net/elespectrode-la-ideologia.html>