

## LA SUSTENTABILIDAD ES DE QUIEN LA TRABAJA

Leonardo Tyrtania

La utopía de un mundo sustentable puede resultar necesaria para discutir los apremiantes problemas que plantea la crisis ambiental contemporánea. Sin embargo, para hacer viable localmente la sustentabilidad es preciso manejarla en el nivel de un agro-eco-sistema diseñado *ex profeso*. ¿Habrá algún modelo teórico disponible para ello? En este ensayo se exploran las implicaciones de la teoría de la *energética social* de Adams para el estudio de los sistemas de producción de alimentos. La sustentabilidad es posible como resultado de la coevolución de diversos sistemas reproductivos que interactúan en el interior de un sistema inclusivo que es el social. Fuera de él no puede ocurrir. El concepto de “sustentabilidad” es eminentemente antropocéntrico. Se puede definir como la producción de alimentos a una tasa de disipación mínima compatible con las capacidades del medio. Un estudio de la sustentabilidad debe establecer a qué ritmo es conveniente extraer la energía de un agro-ecosistema, cuánta gente puede vivir de eso y por cuánto tiempo. La respuesta a esos interrogantes depende de la calidad de vida que reclame la población involucrada. Las reglas del juego cambian cuando se rebasa el nivel de la mera supervivencia biológica. A mayor consumo, mayor demanda de sistemas intensivos de producción. La evolución no muestra direccionalidad alguna aunque en ocasiones parezca apuntar hacia una creciente complejidad. Los sistemas de producción de alimentos también entran en este juego, en el que la variedad representa la “materia prima” de la selección. La evolución de la biosfera se encuentra fuera del control humano. La pregunta es qué margen de maniobra queda, es decir, qué puede hacer un conjunto social por su propia supervivencia sin afectar las bases de su intercambio con los demás seres vivos y otros *actantes* del paisaje. *Palabras clave:* *complejidad, energía, evolución, modelo, sustentabilidad.*

\* Profesor investigador del Departamento de Antropología de la UAM-Iztapalapa.



*Abstract: Sustainability belongs to those who work for it. The utopia of a sustainable world might be necessary in order to discuss the pressing issues that the contemporary environmental crisis poses. However, to make sustainability locally feasible, it should be dealt with at the level of an agro-ecosystem designed for that purpose. Is there a theoretical model available for that design? This essay explores the implications of Adam's theory on social synergies for the study of food production systems. Sustainability is possible as the result of the co-evolution of different reproductive systems that interact inside an inclusive system, the social system, outside of which it cannot happen. "Sustainability" is an essentially anthropocentric concept. It can be defined as food production to a minimum dissipation rate compatible with the capacities of the environment. A study of sustainability should be able to state a suitable pace for the extraction of energy from an agro-ecosystem, how many people can live on it, and for how long it can be done. The answer to these questions depends on the quality of life that the concerned population demands. The rules of the game change above the level of mere biological survival. The bigger the consumption, the bigger the demand of intensive production systems. Evolution does not point towards any direction although occasionally it may seem to point towards a growing complexity. Food production systems also take part in this game, in which variety represents the "raw material" for selection. The evolution of the biosphere is beyond human control. The question is about how much room is left for manoeuvring, i.e., what can a social group do for its own survival without affecting the bases for its exchange with other living beings and other participants of the landscape.*

Key words: complexity, energy, evolution, model, sustainability.

## ¿Sustentabilidad de qué?

El concepto de sustentabilidad suele manejarse como si su significado fuera obvio. Pocos autores se sienten obligados a definirlo e indicar el marco teórico al que se refieren. Tal vez porque se piense que el concepto proviene de la ecología y que desde esta perspectiva todo está claro. En ciencias naturales, sin embargo, hablar de sustentabilidad sale sobrando. Decir que los organismos, las especies o los ecosistemas son “sustentables” sería una suerte de tautología. ¿Por qué, entonces, en el caso del manejo de los recursos por parte de la sociedad humana se habla de manejo sustentable o no sustentable? Porque se cree que es posible implementar sistemas de explotación según convenga, como algo opcional. Se cree que el *Homo sapiens* está en condiciones de decidir el rumbo de la evolución e imponer sus propias reglas del juego. Los humanos estamos profundamente convencidos de que la expansión de una especie tan extraordinaria como la nuestra no debe tener límites tan prosaicos como los naturales. Cuando éstos se presentan, siempre encontramos el modo de remontarlos. Ahora bien, como la biosfera últimamente está dando señales de cansancio, nos asaltan las dudas. ¿No deberíamos, más bien, entendernos mejor con la naturaleza?



Se propone, entonces, la “sustentabilidad”, bajo el supuesto de que el aprovechamiento de los recursos es compatible con su conservación. La tesis es que los insumos renovables pueden sostener el crecimiento económico que la sociedad moderna necesita. Se entiende por sustentabilidad todo lo relacionado con la investigación, el aprovechamiento y la preservación de los recursos naturales. Como tales recursos son renovables, la eficiencia en el uso de los mismos es una solución que tenemos a mano. Una definición oficial, políticamente correcta, del “desarrollo sustentable” proviene del multicitado Informe Brundtland de la ONU, titulado *Nuestro futuro común* (1987), según el cual debemos dejar a nuestros hijos un mundo mejor sin forzar las posibilidades del planeta. Se debe buscar un equilibrio entre el consumo humano y la “productividad” de los ecosistemas. Un mundo sustentable sería el resultado de la conciliación de la eficiencia tecnológica con la economía redistributiva, la equidad social y la salud ambiental. Todo esto para no acabarnos el planeta. Así como la naturaleza sustenta la vida, puede sustentar también el crecimiento de la sociedad y el mercado. ¿Quién podría estar en desacuerdo? Si bien el discurso suena razonable, al revisarse con cuidado los conceptos que lo sostienen, aparecen contradicciones irresolubles.

La palabra “sustentabilidad” es de factura reciente. Es un neologismo que no figura en los diccionarios, pero se entiende: todo el mundo sabe que debemos “preservar el medioambiente”, porque ¿qué haríamos sin él? Lo opuesto de sustentabilidad es el ecocidio y la devastación. Frente a los graves problemas ambientales causados por la expansión de la “civilización de la máquina” y debido a nuestro estilo de vida, la sustentabilidad se nos presenta como la tabla de salvación. Sustentable es sinónimo de ecológico, equilibrado, natural, sano y conveniente. Lo sustentable se refiere a todo lo que se sostiene por sí sólo, no exige costos de mantenimiento y dura para siempre. La “solución ecológica” de los problemas de degradación, contaminación o agotamiento de los recursos consiste en tecnologías limpias, productos verdes y energías renovables.



En un mundo desbocado, cuya civilización puntera hace agua por todos lados, crece la incertidumbre. Nuestro inconsciente colectivo (es una metáfora) nos está enviando el mensaje de que algo anda mal. Ciudadanos de una “sociedad de riesgo” a estas alturas ya somos refugiados ecológicos del planeta todos, especialmente los ciudadanos clasemedieros, resguardados en unas burbujas financieras de tarjetas de crédito. De crisis en crisis, y sin vislumbrar alternativas al capitalismo, tenemos necesidad de creer que hay una salida (benigna) para “la humanidad”. Se tiene la necesidad de confiar que la debacle ecológica provocada por la expansión industrial tiene una solución dentro del sistema económico neoliberal, que el mercado es capaz de corregir por sí mismo los efectos colaterales no deseables del progreso. La solución es la de más crecimiento, pero ahora “sustentable”. Como el discurso de desarrollo ya se agotó, lo de ahora es el “desarrollo sustentable”.

La metáfora de fondo que sostiene ese discurso es la de la Madre Naturaleza que ofrece todo gratuitamente. Si el crecimiento de las plantas se sustenta en última instancia en la fotosíntesis, activada ésta con la energía solar renovable, de ahí se sigue, entonces, que los sistemas naturales al disponer de energía abundante operan gratuitamente y sin desgaste. La naturaleza es generosa cuando respetamos sus leyes. La sustentabilidad está asegurada por la superabundancia de energía que hay en todas partes y por su infinita capacidad de renovación. Tan sólo tenemos que ser más amigables con el “medioambiente” o, tal vez con el ambiente entero, quién sabe. El éxito de este discurso se debe en buena parte a un *wishful thinking* por “un mundo mejor para nuestros hijos”, promesa en la que nos vemos obligados a creer so pena de caer en la desesperanza.

El discurso medioambiental es en sí una mercancía (Santamarina, 2006). De su manejo y comercialización viven instituciones gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y grupos académicos enteros. La idea de sustentabilidad contiene un poco de todo para cada quien: algo de ciencia, otro tanto de mito y mucho de politiquería (García, 1999). Que el concepto no sea nada claro ayuda mucho en la interminable discusión del asunto. Es un concepto “científico”

camente inconstruible, culturalmente desorientador y políticamente engañoso” (1999: 8). Como ya no es posible ocultar la devastación de los ecosistemas a expensas del crecimiento de la economía neoliberal, se propone que el mercado solucione los problemas que él mismo está causando. A pesar de todas estas contradicciones, sostiene el citado autor, debe discutirse la idea de sustentabilidad “mientras no haya otra mejor”. El mérito del concepto consiste en que plantea la disyuntiva entre la protección del medio y el desarrollo industrial devastador. Está en juego, pues, la búsqueda de la solución a un problema apremiante de primer orden. En la discusión sobre los problemas ecológicos actuales confluyen muchas voces. Con tanto barrullo siempre queda la duda de si no habría algo de cierto en el argumento de la sustentabilidad gratuita. En cualquier discusión es la ciencia la que goza de más prestigio. ¿Qué puede decirnos la ciencia sobre el tema?

## El razonamiento a examen

Un razonamiento científico cualquiera se ordena de acuerdo con la lógica de una teoría. En el caso de la *sustentabilidad* (definámosla provisionalmente como el estado de salud de un agro-ecosistema) se necesita una teoría concertada. Se tiene que componerla a partir de un conjunto de teorías, entre ellas, una teoría social. Porque la sustentabilidad no es una cuestión meramente ecológica o “natural”.<sup>1</sup> Tiene las aristas de un problema multifacético, complejo: físico, ecológico, social y, dentro de éste último, técnico, económico, político, ético y cultural, pero, sobre todo, demográfico. Por separado, todos estos

1 En inglés, el término *sustainability* comúnmente se entiende como: 1) capacidad de mantenerse sin ayuda externa y 2) proceso productivo que causa poco o ningún daño al medio, por lo cual se mantiene por un tiempo prolongado. En español tenemos dos términos a disposición, 1) el de sostenibilidad y 2) el de sustentabilidad. Enrique Leff (2008) observa que sostenibilidad se relaciona con la primera acepción, y se trata de la perdurabilidad en el tiempo; mientras que sustentabilidad se refiere al segundo uso, e incorpora los condicionamientos ecológicos, tales como la renovabilidad de la naturaleza, la dilución de contaminantes y la dispersión de desechos en el proceso económico. La sostenibilidad se usa en economía para hablar del desarrollo. La propuesta de Leff es distinguir entre el “economismo del desarrollo sostenible y el ecologismo del desarrollo sustentable” (2008: 103).



aspectos no explican gran cosa, revueltos tampoco. La disputa por la sustentabilidad suele plantearse en el marco de la ecología porque de ahí provienen las advertencias que envía la “naturaleza exhausta”. Suele pensarse que la solución está en los mismos ecosistemas, en el sentido en que sus principios de funcionamiento podrían servir de modelo para la economía. Por de pronto, los ecosistemas naturales no intervenidos tienen unos records de durabilidad envidiable y se regulan solos. Ahora bien, duran mucho precisamente por eso, por no intervenidos. Eso debería hacernos pensar. Buscar modelos de sustentabilidad en la naturaleza no conducirá a ninguna parte. Veamos por qué.

En la naturaleza todo es sustentable mientras haya energía y otros insumos para sostenerlo. El verdadero problema es otro. Veamos. Los procesos naturales se sostienen con el desgaste que ellos mismos producen. “Con el desgaste” quiere decir exactamente eso y no “a pesar de él”, “por encima de él” o “en su contra”. En este Universo no es posible que algo suceda sin causar “ningún daño al medio” o que se mantenga “sin ayuda externa”, como suele decirse de la sustentabilidad. Los sistemas obtienen la energía unos de otros y no la regresan. Así, por ejemplo, los bosques primarios en estado maduro, aunque parezcan eternos, desgastan sus insumos como cualquier otro sistema energético. Los suelos, por ejemplo, se laterizan y su composición envejece. El proceso dura mucho tiempo y a escala de la vida humana puede parecer eterno, pero el hecho es que cada sistema trabaja a su propio ritmo. Un recurso nunca puede aprovechase al cien por ciento ni puede reciclarse por completo. De la energía solar, la fotosíntesis utiliza sólo un 2% (Margalef, 1968) y deja pasar la demás. Por qué las plantas son tan lentas y tan poco eficientes en su tarea de productores primarios, es una buena pregunta. No es la abundancia de algún ingrediente, sino los mecanismos de captura y los de procesamiento de energía los que determinan los costos de la producción de biomasa. Las plantas parecen no tener prisa por vivir, pero en realidad su crecimiento y reproducción están acotados por la disponibilidad de elementos escasos. La vida de los ecosistemas tiene, pues, sus propios ritmos y los sistemas sociales

dependientes de ellos deben ajustarse a los mismos. Ahora bien, tampoco pueden simplemente imitarlos en todo. Las sociedades humanas son de otro nivel de complejidad y su consumo energético por unidad de estructura mantenida es mucho mayor.

En cuanto a las sociedades humanas, éstas no están interesadas precisamente en asegurar para sí mismas una vida vegetativa, tranquila y sin sobresaltos. De ahí que ningún ecosistema será un modelo a seguir. No será la ecología, ni ninguna otra ciencia natural, la que explique un solo “hecho social”. Las ciencias sociales por sí solas, tampoco. Debe evitarse, por un lado, la “falacia naturalista”, según la cual las generalizaciones o “leyes” derivan lógicamente de los hechos, en este caso, ecológicos. Pero también debe evitarse el otro extremo, el de la “tautología sociologista”, según la cual lo social se explica exclusivamente por lo social.

## Un discurso insostenible

Los sistemas sociales humanos son sistemas sin precedentes en la naturaleza, pero no por eso dejan de ser naturales, si admitimos que surgieron en el transcurso de la evolución. ¿En qué consiste su novedad? En el grado de complejidad, el cual depende del procesamiento de energía-materiales-e-información. Las transformaciones se dan por medios físicos, químicos, bióticos y en caso de los arreglos sociales se suman a ellos los medios que están al alcance de los humanos. Estos últimos son los que proporciona la cultura (en el sentido antropológico del término<sup>2</sup>). De modo que al referirnos a la complejidad tenemos que considerar varios *niveles de integración* definidos por las *características emergentes*. En biología el asunto es relativamente fácil: hay una relación entre una determinada población y la disponibilidad de recursos que ésta utiliza. La relación se puede calcular con precisión ya que el flujo total de energía a través del sistema prácticamente equivale a la suma del consumo endosomá-

2 En la energética social de Adams cultura es un complejo mecanismo catalítico que permite ensamblar formas energéticas diferentes, tanto humanas como no humanas. El término se refiere a “*conjunciones particulares* de lo energético y lo mentalístico” (Adams 1978: 63) debidas a “la capacidad para inventar símbolos” (1983: 26).



tico de los individuos que lo componen. De ahí que en biología el concepto de *capacidad de carga*, un concepto netamente ingenieril, permite calcular, por ejemplo, las cantidades de presas por depredador, individuos por superficie, volumen de biomasa por el costo de transporte y otros correlatos más, dependiendo de lo que interesa. Estos modelos, sin embargo, no funcionarán en el caso de las poblaciones humanas por varias razones, de las cuales enumeraré tres y me quedaré con una para considerar sus implicaciones.

La primera es el consumo energético social y culturalmente establecido, esto es, el consumo exosomático.<sup>3</sup> Aunque el autodenominado *Homo sapiens* sea una única especie en su *filum*, las diferencias al interior de la misma en cuanto al uso de energía, tecnología e información son tan grandes que difícilmente podemos hablar de una sola humanidad que se reconozca como tal. Los contrastes Norte-Sur, las diferencias de estamentos sociales al interior de las sociedades, el acceso diferencial a la información y las tecnologías, las formas modernas de esclavitud, el racismo, la violencia, las infranqueables barreras religiosas y las guerras indican la magnitud del problema.

La segunda razón es que el modelo vigente de desarrollo no respeta las reglas mínimas de convivencia. El modelo representa un peligro letal para las mismas sociedades que lo están implementando. Una séptima parte de la humanidad disfruta mal que bien de las ventajas de la tecnología moderna. La mayoría de estas personas viven en los países industrializados, pero también hay grupos de privi-

<sup>3</sup> En griego ζωμα (*soma*) significa cuerpo. Los instrumentos “extra-corporales” son herramientas que permiten la captura de energía que el cuerpo como sistema orgánico individual no puede efectuar. Las formas de vida se reproducen integrando cada vez más flujos energéticos en sus ciclos, según reza la primera parte del principio de Lotka. Para eso se organizan los individuos en grupos y sociedades. A los instrumentos endosomáticos se suman, entonces, los instrumentos exosomáticos, que la cultura permite ensamblar, de modo que los sistemas sociales pueden manejar mucha más energía de la que manejan los órganos con los que están equipados los cuerpos de sus integrantes individuales. Los instrumentos exosomáticos permiten al hombre obtener la misma cantidad de baja entropía con menos gasto de su propia energía libre que si utilizasen únicamente sus capacidades individuales (Georgescu-Roegen 1996: 381). La distinción es importante para la energética social, porque “tenemos, como especie, instrucciones genéticas respecto del consumo endosomático de energía en nuestra nutrición pero no con respecto a nuestro uso exosomático de energía (y materiales), que debe ser explicado por la historia, la política, la economía, la cultura, la tecnología” (Martínez-Alier 2003: 20).



legiados en los países “en vías” de desarrollo. El consumo insensato y extravagante de estos grupos, al que hay que sumar el consumo al ras del suelo de las masas empobrecidas de los “menos favorecidos” del sistema capitalista, que luchan desesperadamente por sobrevivir, está causando estragos en los ecosistemas que soportan la vida. ¿Cómo es posible que se defienda este modelo a sabiendas que es inviable y peligroso? ¿Cuántos mundos más se necesitarán destruir para que unos cuantos tengan un consumo sostenido económicamente, por lo demás, insano?

La tercera razón es el irremediable antropocentrismo del modelo en cuestión. En ecología no hay ningún ejemplo de ecosistema dominado por una sola especie. La presencia preponderante de las sociedades humanas en casi todos los ecosistemas terrestres no tiene parangón en la historia natural y se debe a la creciente capacidad tecnológica de las sociedades humanas. Debido a los espectaculares éxitos de la sociedad industrial creer en la tecnología no nos cuesta nada. *“Come what shall we find the way”*, es el lema de la tecnocracia. Cuando se acabe el petróleo, suele argumentarse, vamos a utilizar la energía limpia y dejaremos de contaminar. Comúnmente se cree que a más tecnología menores los costos de la expansión. Así es de grande la fe en los milagros.

La posible o imposible sustentabilidad de las sociedades humanas es, en primer lugar, una cuestión energética y desde esta perspectiva hay que abordarla. La “capacidad de mantenerse sin ayuda externa” que aducen los partidarios de la sustentabilidad gratuita es una falacia lógica: todo sistema opera a expensas de otros sistemas. Toda transformación energética tiene su precio que se paga con entropía. Nada es gratuito en este mundo. Aquí me propongo examinar las implicaciones que tiene el concepto de *sistema disipativo* en la discusión sobre los sistemas de producción de alimentos, el que discutiré desde la *energética social* adamsiana, que expongo a grandes rasgos a continuación.



## La lógica de la dinámica energética

La energía es el denominador común de las partes operativas del Universo. Nada sucede en este mundo sin gasto energético irreversible y todo lo que existe se puede entender como forma energética en proceso de disipación que afecta otras formas energéticas. Trátese de minerales, células, sociedades o artefactos, todas esas formas son sistemas que disipan energía. Una piedra de granito nos puede parecer una estructura eterna, sin embargo, si la ubicamos en su propia escala del tiempo veremos que es parte de un proceso de cambios y transformaciones que la afectan en su manera de existir, la cual depende del ambiente en que está colocada. La lógica elemental de la dinámica energética está expuesta en los principios de la termodinámica. En un sistema cualquiera la energía es constante y la entropía crece; es un postulado a modo de principio universal.

*Evolución* es un proceso energético-entrópico y entre los seres vivos se manifiesta en la “disputa por la energía libre”, como lo resumió en pocas palabras Ludwik von Boltzmann. Recién en nuestros tiempos la idea darwiniana de variación / selección pudo formularse en términos de la termodinámica de procesos irreversibles. El segundo principio de la termodinámica, el del aumento de entropía, es el móvil de la evolución.<sup>4</sup> Esta es la tesis de *evolution as entropy* de Brooks y Willey (1988). Las “islas del orden” —la expresión es de Kenneth Boulding— que surgen en el océano del caos contribuyen sin poder evitarlo al desorden. ¿Habrá algún lugar en el mundo en el que la entropía no opere? Ese lugar sería un paraíso. El mundo en el que nos tocó vivir no se le parece absolutamente en nada, no hay permanencia gratuita en él. *There is no such thing as free lunch*, suelen decir los economistas, y tienen razón por partida doble. En primer lugar, porque todo sistema debe pagar el “impuesto” de entropía (la energía desgastada que va al sumidero cósmico del calor muerto) y en segundo, porque de alguna parte tiene que salir el gasto para

<sup>4</sup> Este principio tiene muchas versiones, pero no es necesario esperar que todos los especialistas se pongan de acuerdo. El principio entrópico está bien establecido y se refiere a que “el progreso de un rincón del universo implica un regreso en el otro” (Wagensberg 2002: 36). “Progreso” aquí quiere decir aumento en el orden y la complejidad a expensas y en medio del caos.

compensar esa pérdida. Esta última parecería una fatalidad, pero no lo es, resulta ser más bien un estímulo. Precisamente por ser una pérdida *irrevocable* es necesario reponer la energía desgastada. Si la energía fuera renovable no necesitaríamos preocuparnos por nada, viviríamos seguros de tenerla por siempre, si es que esto podría llamarse vida. Si no hubiera pérdidas o si estas fueran de alguna manera recuperables no se necesitaría compensarlas con energía de potencial intacto. Todo sistema viable tiene un déficit entrópico permanente y la única manera de compensarlo es con más disipación, no con menos.

Los sistemas vivos siguen los principios de la termodinámica al pie de la letra. Transfieren parte de la entropía que producen a otros sistemas con lo cual pueden mantener el balance energético positivo al interior, pero no sin contribuir al aumento del desorden en el exterior. Con esto se cumple el principio entrópico; la vida, pues, no tiene la facultad de contravenir los principios de la termodinámica, ni falta que hace: la vida se debe a ellos (Schrödinger, 1984).

La evolución en tanto *una manera de disipar energía* proporciona una base común para entender los procesos de cambio tanto en el nivel físico, como en el orgánico y así en el social. Un sistema disipativo es el que “utiliza” el flujo de energía y materiales para incrementar su organización. El sistema se define como un flujo de energía-materiales-e-información. Se llama *sistema disipativo* aquel que está termodinámicamente abierto. La pérdida del potencial de energía que fluye a través de él debe compensarse con la energía nueva. La búsqueda y consecución de esta energía produce cada vez más entropía. En los sistemas físico-químicos el suministro depende totalmente de las condiciones del medio, en cambio, en los sistemas adaptativos bióticos la necesidad de energía fresca con el potencial intacto impulsa la construcción de nuevos arreglos y la modificación del medio. Al perpetuarse y reproducirse las formas energéticas generan variedades. La selección consigue retener formas viables en determinados ambientes y cuando éstas se juntan surgen “sistemas inclusivos autorreplicantes” (Adams, 2001) de un nivel de complejidad mayor. Los sistemas se coordinan dando lugar al surgimiento de redes o nuevos niveles



de integración cada vez más complejos en un proceso de simbiogénesis. La *complejidad* es la característica del patrón evolutivo que consiste en el arte de transferir la entropía a otros tiempos, otros espacios, otros sistemas. La complejidad es la medida del alejamiento del equilibrio (véase Tyrtania, 2008).

No debemos pensar en principios distintos para los diferentes procesos de evolución.<sup>5</sup> La dinámica de procesos irreversibles —nada sucede dos veces de la misma manera— da cuenta de la evolución de sistemas abiertos en todos los niveles, desde el molecular hasta el poblacional, desde las profundidades de la mecánica cuántica hasta la vastedad de los espacios cósmicos. Ahora bien, los principios de la termodinámica no explican los procesos evolutivos por sí solos. En cada nivel evolutivo, ya sea físico, biótico o social, surgen sobre la marcha propiedades nuevas o, como ya se ha dicho, propiedades emergentes, que no son otra cosa sino patrones de *auto-organización*, los que se van agregando sobre la marcha y se sedimentan en la memoria de los sistemas. Si bien no es posible retener la energía, la información sí se puede acumular cuando se cuenta con dispositivos para ello y con la energía para accionarlos y darles mantenimiento. La información, aunque parezca un fenómeno inmaterial de cero dimensiones, sólo se puede producir y mover dentro de las coordenadas físicas del espacio-tiempo (Herrmann-Pillath, 2013).

El argumento central de este razonamiento es el siguiente. Ningún sistema puede operar por un tiempo indefinido a un ritmo constante, esto es, sin sufrir el desgaste y sin dejar huella en el medio. Al extraer la energía y gastarla en su autopoiesis un sistema contribuye a que él y su medio sufran cambios acumulativos. Este es el *principio entrópico*, un dilema que formulado de manera precisa dice: “todo proceso energético consume una cantidad mayor de entropía baja de la que está contenida en sus productos” (Georgescu-Roegen, 1975: 791). De ahí que todo sistema abierto está sometido a un *apu-*

5 Evolución es un proceso estocástico: muestra una secuencia de sucesos que combina el componente aleatorio con la selección (Bateson, 1993), esto es, combina el azar con las pautas evolutivas de la autoorganización. Elabora sus patrones sobre la marcha, en medio de la incertidumbre y el caos que la estimula. No cuenta con un plan que cumplir ni dispone de un diseño que ejecutar, su camino es la “indeterminación entrópica” (Georgescu-Roegen 1972).



*ro entrópico:* para sobrevivir debe obtener más energía neta de la que gasta en su mantenimiento y reproducción. El quid de la cuestión es que, para funcionar, un sistema necesita reponer su potencial *en un determinado tiempo*, y de no lograrlo dejará de disipar energía definitivamente.

El flujo de energía que constituye un sistema termodinámico abierto lo pone en una situación de apremio, porque tiene que operar en un mundo cuyo desgaste aumenta irremediablemente. Es así, porque la energía no es renovable. ¿Acaso se puede quemar dos veces el mismo leño? Una vez quemado, hay menos energía libre en el mundo y no existe poder alguno capaz de revertir el hecho. Se puede obtener otro leño, pero sólo al costo de disipar más energía: hay que salir a buscarlo de nuevo e ir cada vez más lejos, porque tarde o temprano entra en juego la ley de rendimientos decrecientes. Se puede cultivar dos veces y más el mismo campo, pero no por mucho tiempo. El desgaste del suelo será progresivo y deberá ser compensado con insumos externos cada vez más costosos (abonos, trabajo, tecnología, capital). Una vez gastada la energía no es recuperable. Me pregunto por qué es tan difícil entender este asunto y por qué todo el mundo habla de “energías renovables”. ¿No será porque nos gusta creer en los milagros?

Pues bien, mientras haya vida o mientras se desarrolle cualquier otra actividad energética, el desgaste no dejará de operar, eso es, no dejará presionar para que el consumo energético aumente. Ojo, vale sólo para los sistemas complejos. Una vez sobreentendido que la entropía circula en todas las direcciones y que éste es el móvil que anima todas las actividades, la pregunta por la sustentabilidad cambia de sentido. Ya no sería la pregunta por cómo dejar “un mundo mejor”, sino cómo dejar detrás de nosotros un mundo medianamente viable, compatible con las reglas del funcionamiento de la biosfera. En un ensamble de sistemas reproductivos en que unos obtienen la energía a expensas de otros es necesario preservar la continuidad, seguir las pautas de las cadenas tróficas regionales, respetar al máximo la diversidad y disponer de un sistema de aseguramiento y reciclaje de los desechos. La sustentabilidad consistiría, entonces, en



permitir que la naturaleza realice su trabajo, pero teniendo presente que nada de lo que hace nos lo va a ofrecer gratuitamente. Si la disipación es un fenómeno natural inevitable una extracción de recursos sostenida, por más que la califiquemos de “sustentable”, debe compensarse con un trabajo extra. La pregunta es, entonces, cuál es el precio de la sustentabilidad y en qué sentido vale la pena pagarla.

## La paradoja del predicamento entrópico

Existir es disipar energía y no dejar de hacerlo “nunca”, pero en un mundo cuya entropía aumenta a cada instante. Aun cuando una fuente de energía sea generosa, la energía útil de esta fuente nunca será gratis, porque su disponibilidad no depende de su abundancia, sino del costo de los mecanismos de extracción y procesamiento de la misma. Para obtener energía hay que invertir energía. Cuando se afirma que la energía del Sol es inagotable, gratuita y limpia, suele olvidársenos lo caro y contaminante que es elaborar, mantener y desechar los dispositivos de captura de esa energía. Se nos olvida que los costos de operación y mantenimiento de esos dispositivos son progresivos. Además del costo de captura, se nos olvida que la energía degradada tendrá que ir a alguna parte (antes de llegar al sumidero de calor muerto), todo lo cual hace que ningún flujo sea “limpio” en el sentido en que no deje de producir desechos y afectar al medio. Por lo demás, habría que preguntar cuánto calor produciría la captura y el uso de la energía solar si tuviera éxito en gran escala como sustituto de la quema de hidrocarburos. ¿No se calentaría el planeta igual o más todavía?

La paradoja del *predicamento entrópico* es la siguiente. Reponer la energía disipada sólo es posible con más disipación, no con menos. Funcionar en este mundo y no disipar cada vez más energía es una imposibilidad termodinámica. ¿Será posible producir “más con menos”? Podrá mejorar la eficiencia energética en algún momento de la relación insumo /egreso, pero a lo largo del proceso de transformación los costos totales de producción aumentarán si tomamos

en cuenta al sistema—y—su—medio. La producción sostenida de cualquier cosa se hace con cada vez más energía, no con menos:

... todos los signos indican que una mayor productividad, esto es, más consumibles por hora hombre, requerirá marginalmente más y más energía. La complejidad demandará un costo energético y, considerando los colapsos, un costo de tiempo. *El tiempo es energía* (Slesser 1978: 61, énfasis mío).

El tiempo es irreversible e igual que la energía, no es renovable. La producción de entropía en todos los procesos energéticos es una cuestión de sentido común. Representa la experiencia más trivial de la humanidad, así como de las demás especies o formas de vida. Para reponer la energía gastada hay que salir todos los días a buscar la energía nueva invirtiendo en ello la poca que queda. La ciencia se tardó algo en reconocer la dinámica energética elemental. Los principios de la termodinámica se formularon en la primera mitad del siglo XIX e hicieron falta varias décadas más para que recién en la segunda mitad del siglo XX fuera posible expresar la dinámica evolutiva en términos de la dinámica energética. La economía y las ciencias sociales en general no están dispuestas a integrarla, porque predomina la creencia de que la humanidad es una excepción en la naturaleza. Se cree que la economía tiene sus propias leyes: es un sistema cerrado que se autorregula con la “ley” de la oferta y la demanda. Como decía Samuel Wilson, en la economía “no hay nada parecido a la ley de entropía”, de modo que no es necesario tomarla en cuenta. Ahora bien, descartar la termodinámica significa eliminar la base lógica —la de la *estructura termodinámicamente fluida*— imprescindible en la construcción de modelos explicativos de sistemas complejos, incluidos los sociales. La *teoría de sistemas dissipativos*, que a juicio de Rolando García “ha conducido a uno de los avances más espectaculares de la ciencia contemporánea” (2006: 60), es la que proporciona el *modelo* de un sistema sustentable.

En cuanto a los modelos o metáforas de la naturaleza, en todos los niveles de complejidad la regla epistemológica básica es la misma: “obtenemos conocimiento cuando los datos se ajustan a un



modelo previamente elaborado” (Adams, 1982). Esta idea en física suele etiquetarse como “realismo dependiente del modelo”. Entre la teoría y la realidad siempre está mediando un modelo. La teoría que viene al caso en relación con nuestro tema es la teoría de la evolución. El modelo que aquí propongo para volver operativa la idea de sustentabilidad es el de *sistema disipativo*.

Todo proceso implica desgaste, el cual tanto el medio como el sistema resienten. Todo consumo, en particular el consumo energético de los seres humanos en sociedad, tiene su aspecto problemático. El procesamiento de energía siempre presenta ese “lado oscuro” e inseparable de los procesos de ordenamiento que es la destrucción de otras formas ordenadas. El orden y el caos son simultáneos: a más orden, más caos y más problemas, no menos. Tanto en el caso de la tecnología simple, como en el caso de la tecnología “avanzada”, se presentan los efectos irreversibles, los que de hecho son la causa de todos nuestros apuros y de la creatividad que de ellos resulta. Es imposible ganar el “juego de la termodinámica” (la expresión es de Margalef); tampoco es posible empatar, a la larga sólo se puede perder. Pero mientras dura el partido la ganancia consiste en seguir jugando y en disfrutarlo. El resultado más importante de los procesos energéticos no es la entropía que producen, sino —según la expresión de Nicholas Georgescu-Roegen— el *enjoyment of life* que proporcionan.

## El *perpetuum mobile* del equilibrio

El principio entrópico prohíbe que un sistema pueda trabajar de manera constante, sin costo adicional y creciente, como si fuera un *perpetuum mobile*. Tal parece que ésta última es la imagen que se ha adueñado de nuestra imaginación como la metáfora a través de la que concebimos la naturaleza atribuyéndole una suerte de “sustentabilidad” gratuita. En un manual de ecología típico como el de G. Tyler Miller (2007), por ejemplo, la sustentabilidad se define como “habilidad de adaptarse a condiciones ambientales cambiantes *en for-*

*ma indefinida*" (el subrayado es mío).<sup>6</sup> En este caso se alude al movimiento perpetuo de segundo orden, conceptualizado también como el "equilibrio dinámico". El supuesto es que es posible extraer energía del mismo movimiento para compensar el desgaste sin la necesidad de recurrir al insumo externo. Fue una obsesión de los sabios de la antigüedad construir un móvil tan ingenioso que trabajaría sin roces y sin pérdidas. La imagen fue representativa de la naturaleza entera, ideada ésta como un conjunto de mecanismos que trabajan cada uno por sí solo, aisladamente. La idea del "equilibrio natural" que se da espontáneamente sin costo alguno tuvo su origen en la física aristotélica. Las cosas caen en su lugar por su propio peso. Así también está concebido el universo newtoniano, como un mecanismo de relojería que se mueve sin roces. La mecánica celestial es perfecta, porque obedece leyes divinas inmutables y eternas. Es una maquinaria que una vez echada a andar se mueve sin parar y sin desgaste. Si bien en la ciencia contemporánea la *imago mundi* mecanicista fue abandonada a su suerte, todavía se enseña en las escuelas.

Uno de los bastiones más firmes del mecanicismo en nuestros tiempos es la doctrina del liberalismo económico. La economía se concibe como un mecanismo autónomo, que funciona al vaivén de sus propias leyes, cuyo movimiento mismo corrige los desequilibrios. La "mecánica de la utilidad" hace que los precios reflejen los costos. La metáfora de la "mano invisible" ilustra bien esa creencia en una "ley natural" básica que es la *tendencia al equilibrio*.

El discurso del desarrollo sustentable es una puesta en escena, la más reciente, del mismo argumento. La sustentabilidad se concibe como una especie de "mecanismo ecológico" capaz de funcionar por sí solo, sin dañar al medio y, además, trabajar gratis "en forma indefinida". En los ecosistemas en estado maduro —se argumenta— las necesidades de cada especie están cubiertas y ajustadas a las

6 En la legislación de la Semarnat el aprovechamiento sustentable se define como "la utilización de los recursos naturales en forma [tal] que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, *por períodos indefinidos*". El objetivo es "lograr que el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas sea fuente permanente de ingresos y mejores condiciones de vida" (cursivas mías). ¿Cómo podría calificarse la creencia de que el aprovechamiento sustentable puede ser "permanente", "por un tiempo indefinido" y que puede "mejorar" el medio? ¿No será un *perpetuum mobile* sin sentido?



posibilidades del medio. Así, la naturaleza también puede proveer los insumos para una agricultura que satisfaga las necesidades de la sociedad en crecimiento “sin afectar el equilibrio de los ecosistemas y sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras”, según el Informe Brundtland. La biosfera provee de insumos abundantes, renovables e infinitos. La sustentabilidad vendría a ser una imitación de la “economía de la naturaleza”, con la diferencia de que ahora están los humanos a cargo del “excedente”.

El del “equilibrio natural” es un razonamiento invulnerable, porque postula como referencia un mundo ideal, en el que la causa final es la perfección. El presupuesto tácito inconsciente es que el orden no se produce, sino que existe en todas partes desde la creación como un sustrato inamovible de la realidad. ¿Cómo pudiera funcionar la naturaleza si fuera imperfecta, expuesta al azar y el tanteo? Ahí está la ciencia para descubrir el “orden natural de las cosas”. Y si por algún error o pecado original este orden queda perturbado, lo cual sucede mucho en la esfera de la influencia humana, hay que restablecerlo. Lo que urge, pues, es recuperar esos “delicados equilibrios ambientales” mediante la sustentabilidad, para que el mundo vuelva a funcionar como antes. El mito del eterno retorno está presente en casi todas las religiones y no sorprende encontrarlo en la utopía del “desarrollo sustentable”.

En la física contemporánea lo *natural* no es sinónimo de “equilibrado”, sino de *irreversible* (Planck 1968). Todo proceso natural es irreversible en el sentido de *no lineal, estocástico y alejado de equilibrio*. El cosmos entero está fuera del equilibrio, en una vertiginosa e irrepetible expansión, la misma que continuará hasta que termine el *Big Bang*. Si el Universo que nos es dado conocer estuviera en equilibrio no estaríamos nosotros aquí para atestiguarlo. En un sistema tan grande y tan dilatado a escala de la vida humana como lo es el sistema solar; aparentemente hay un estado estable, pero esto lo vemos así porque se nos pasa por alto su historia. El sistema solar tuvo un principio turbulento como una nube de gases, luego se hizo grumos y de seguro sigue encaminándose hacia el colapso. En cuanto a la biosfera, “nada en ella está en equilibrio”, observa James Lovelock.

Algunos procesos parecen estar en estado de no disipación, digamos en un estado meta-estable, como por ejemplo las rocas o los cristales. Pero basta con observar estos objetos por suficiente tiempo para darnos cuenta que nada es para siempre. *La flecha del tiempo* se hace patente incluso en las estructuras que a simple vista puedan parecer eternas.<sup>7</sup>

El concepto de equilibrio perdió sentido y dejó de ser referencia universal desde que se entendió mejor cómo funciona un sistema complejo, en el que el caos y el orden están presentes simultáneamente. El clima es un buen ejemplo de esto. El estado del tiempo es a la vez predecible y caótico. Fluctúa desordenadamente, pero forma patrones. Un sistema así, sólo puede entenderse a partir de aproximaciones estadísticas y correlaciones entre variables. El clima también es un buen ejemplo de lo inútil que resulta el concepto de “equilibrio dinámico”, un concepto de corte funcionalista. *El único estado de equilibrio en el sentido preciso de esta palabra es el de cero producción de entropía.* Por principio, todo sistema distingüible del medio está fuera de equilibrio. Un sistema complejo que se perpetúa en el tiempo tiene una sola manera de hacerlo: alejándose cada vez más del equilibrio, esto es, de la muerte térmica.

Por lo demás, la función de la segunda ley no es la de asegurar el apocalipsis. La entropía opera aquí y ahora, no en el futuro, por lo que estamos obligados a movernos hacia adelante. Desde la perspectiva evolucionista es imposible concebir un mundo en estado de equilibrio. En un medio que consiste en intercambios energéticos continuos y pérdidas irrevocables que los acompañan ningún conjunto puede quedar quieto y equilibrado con su medio. La sustenta-

<sup>7</sup> La “flecha del tiempo” es un término acuñado por Eddington en una publicación de 1925 para indicar la dirección *irreversible* de los procesos energéticos, una irreversibilidad debida al aumento de entropía. La asimetría en el tiempo es una característica fundamental del universo; sin embargo, dicha asimetría no ha sido confirmada por todas las teorías de la física (la mecánica newtoniana, la relatividad general y la mecánica cuántica). La paradoja de la irreversibilidad es esta: mientras que la *flecha del tiempo* apunta hacia el equilibrio termodinámico, el proceso no necesariamente es un descenso inmediato hacia el desorden, sino que mediante retardos, perturbaciones, movimientos azarosos o fluctuaciones se dan productos escalonados de evolución que observamos como ordenados. La paradoja consiste en que lo que es caótico en un nivel micro, presenta patrones de conducta en un nivel macro, de modo que por el camino hacia el sumidero cósmico de entropía surgen novedades evolutivas inéditas.



bilidad, pues, no puede ser resultado del estado de “equilibrio ecológico” autoajustable, gratuito y funcionando por un tiempo indefinido. Tampoco es posible una extracción inofensiva de excedentes, una que no causaría daño a nadie. En un ecosistema no hay “excedentes”. Todo lo que un sistema produce son recursos necesarios para accionar los mecanismos de regulación. El de “excedente” es un término antropocéntrico y, al igual que el de “sustentabilidad”, no tiene sentido sino dentro de nuestras categorías de autorreferencia. Nuestra incapacidad de imaginar el mundo *sin nosotros mismos en su centro* es el problema que condiciona nuestros constructos mentales, los que limitan enormemente nuestra capacidad de reacción.

En cuanto a la idea de introducir “la variable ecológica” en el análisis social existe una considerable oferta de enfoques,<sup>8</sup> aunque ninguno de ellos toma en cuenta lo que más arriba se expuso como la *lógica elemental de los procesos energéticos*. Es la *energética social*, una teoría elaborada en antropología por Richard N. Adams (1975, 2001, 2005) para el análisis del poder social, la teoría que viene al caso: la *sustentabilidad* es un proceso energético.

## La sustentabilidad no depende de la energía solar

El argumento que pretendo desarrollar aquí es el siguiente. Los agro-ecosistemas (ecosistemas intervenidos por la agricultura) no se pueden autorregular espontáneamente a partir de los recursos propios, porque nunca llegan a ser sistemas maduros en el sentido ecológico del término. Un ecosistema maduro (en estado de clímax, como solía decirse), funciona cuando toda su energía se canaliza hacia la respiración y el mantenimiento, esto es, hacia la perpetuación

8 Véase, por ejemplo, un listado de éstos en Jacorzynski (2004: 64-138). Las “concreciones occidentales” del medio ambiente que resume el autor son variopintas: utilitarismo, libertarianismo, liberalismo moderado, ambientalismo social, ecomarxismo, ecoteología de la liberación, ecología profunda, teoría de Gaia, Land Ethic, Política Verde, biorregionalismo y ecofeminismo. Habría que agregar a esta lista a los partidarios del “decrecimiento sereno”, un movimiento que está cobrando fuerza entre la clase media urbana. Por el otro lado están los “eco-fascistas”, partidarios de un gobierno central de mano dura para arreglar los asuntos ambientales de una vez por todas.

de las condiciones de su existencia. Funcionará así, en su estado de “reproducción simple”, o una suerte de repetición de lo mismo, por algún tiempo absorbiendo las fluctuaciones y sustituyendo sus elementos en el proceso de autopoiesis. Ahora bien, las pérdidas, si bien son imperceptibles a escala humana, en la escala del tiempo del ecosistema son acumulativos. Las mermas se acumulan también en el así llamado “estado estable”.

El estado de madurez de un ecosistema natural no intervenido no es un modelo de sustentabilidad de un agro-ecosistema. Son dos sistemas distintos, aun cuando compartan principios de operación comunes. La diferencia está en la naturaleza de los flujos compensatorios que los sostienen y en la intensidad de los intercambios energéticos. Un ecosistema no intervenido se autorregula con mecanismos elaborados a lo largo de su evolución. Cuando se abren los espacios para la agricultura las reservas acumuladas por el ecosistema son aprovechadas para los fines ajenos a sus necesidades. Como consecuencia, el ecosistema intervenido pierde, proporcionalmente al tamaño de la intervención, su capacidad de responder a las eventualidades. La agricultura modifica la configuración del ecosistema original regresándolo a los estados previos de sucesión. En los lugares intervenidos el ecosistema responderá acelerando o “sobrecalentando”, por decirlo así, algunos de sus circuitos de intercambio. La agricultura es como un trauma o un estado de excepción permanente. Si bien hay percances que pueden remediararse, el de la agricultura no permite que el proceso de sucesión siga su curso; la agricultura generalmente llega para quedarse. Es como si se abriera una herida para sangrar un organismo repetidamente. Una sangría, si bien puede ser “sostenible” por algún tiempo, no puede durar demasiado, su viabilidad depende del ritmo al que se produce la extracción y la reposición. Además del agotamiento de los recursos hay que tomar en cuenta la deposición de los desechos, la erosión, la oxidación, la interrupción de los ciclos vitales y la simplificación de la biodiversidad.

Solo en casos en los que la agricultura se practicara a una escala muy pequeña, la intervención no modificaría sustancialmente el en-



torno. Pero los sistemas agrícolas son expansivos, su éxito implica el aumento de la población y al revés, el aumento de la población estimula la expansión agrícola, como lo puntualizó Esther Boserup. Sea como fuere, la reposición de recursos locales tarde o temprano aparecerá como un problema de primer orden. El éxito de un sistema disipativo complejo no depende de su productividad, sino más bien de su capacidad de transferir a otros sistemas las pérdidas que se ocasionan en sus transformaciones energéticas. El sistema produce mientras logra esta transferencia y mientras el medio la pueda soportar.

Para reponer las pérdidas relacionadas con el desgaste los sistemas dependen de un flujo de energía compensatorio, el cual debe ir en aumento. El flujo principal se maneja mediante los flujos que activan los mecanismos de regulación (los detonadores o *trigger mechanisms*, en términos adamsianos). Cuando se agotan las posibilidades individuales de consumir más energía los sistemas se asocian en un *nivel de integración* más complejo para diversificar sus fuentes de energía e información. Depender de un solo recurso, de un solo tipo de tecnología o de un solo ecosistema sería exponerse al peligro. La ventaja evolutiva de los sistemas reproductivos consiste en la posibilidad de asociarse e inventar así complejidades nuevas, cada vez mayores, en niveles de integración más inclusivos y alejándose cada vez más del equilibrio termodinámico.

De la agricultura tradicional, la que emplea solamente el trabajo vivo, se dice que no extrae recursos por encima de la capacidad de reposición del medio. Pero esa es una generalización algo precipitada. Ya se ha dicho que todo sistema extrae recursos produciendo residuos y que una eficiencia al cien por ciento en la producción y el reciclaje es una imposibilidad teórica y práctica. Ahora bien, los procesos de extracción pueden ser lentos, como en el caso de los ecosistemas no intervenidos, o muy rápidos, como en el caso de la agricultura. Si un sistema agrícola permanece aislado, funcionará “respetando” las posibilidades del medio y el crecimiento de la población se ajustará a las condiciones locales. Estos sistemas se dieron en la historia y duraron mucho, pero solo mientras estaban aislados y mientras el medio per-

mitía la extracción. Hoy por hoy ya no existen ni para la muestra. Las comunidades humanas suelen conectarse entre sí a la primera oportunidad, ya sea por la vía del intercambio pacífico, ya sea por la guerra, ya sea por el mercado que es una mezcla de los dos. Es así como salen de su autosuficiencia local-regional. En cuanto a las comunidades campesinas contemporáneas, éstas suelen considerarse bien adaptadas a su medio, sin embargo, lejos de ser dueñas de las circunstancias, están sometidas a fuertes controles sociales externos. En estas circunstancias no pueden estar en “equilibrio ecológico” con su medio. La agricultura de autoabasto que practican en la actualidad estas comunidades no tiene que ver con la sustentabilidad, sino con la supervivencia al ras del suelo. Son comunidades que sobreviven en un contexto adverso, al margen del mercado que las ignora, excepto cuando explota su mano de obra estacional. La mano de obra que se reproduce en las comunidades campesinas no puede ser absorbida por la misma agricultura de autoabasto que practican. Agotadas las posibilidades de expansión horizontal para estas comunidades, pierden *de facto* su autonomía. Como insistía en sus trabajos Eric Wolf, estas comunidades no son producto de una adaptación exitosa al medio, sino un resultado del sometimiento a las presiones que el sistema capitalista ejerce sobre ellas. Proponer la agricultura de autoabasto como un ejemplo de agricultura sustentable es algo precipitado.

La sustentabilidad de un sistema agrícola depende (1) de su inserción en el ecosistema circundante y (2) del subsidio que le proporciona la sociedad mayor. Para que estas condiciones se cumplan tendría que pensarse en un cambio del contexto económico-social. En el futuro, tal vez ni tan remoto, cuando deje de funcionar la economía de casino que vivimos ahora, se necesitarán modelos de supervivencia más acordes con las exigencias del medio, por contraste con los que dependen de la costosa agroquímica industrial. La escuela mexicana de ecología explora los proyectos autogestivos de producción de subsistencia en las diferentes regiones del país como resultado de “una geopolítica de las resistencias bioculturales” (véase Toledo y Ortiz-Espejel, 2014). Efectivamente, la sustentabi-



lidad depende de una geopolítica local, regional, nacional, etcétera, pero para que ésta cristalice tendrán que cambiar las condiciones del mercado. La sustentabilidad es costosa y no puede solventarse solo con los recursos locales. Los campesinos empobrecidos por el sistema no practican la sustentabilidad, sino que “administran autónomamente su miseria” (Varela, 2005) dentro de las limitaciones del sistema que los envuelve.

La agricultura orgánica que se practica en algunos lugares está en la etapa de experimentación. Varios de estos casos están documentados en la literatura como ejemplos de sustentabilidad (Astier *et al.* 2008, citan algunos). El hecho que hay que destacar es que en las comunidades en las que se ha implementado algún proyecto agrícola o agroforestal sustentable, los insumos para sostenerlo provienen desde fuera: el capital, la organización de la producción, la tecnología, los medios de comercialización, la supervisión y otros. Esto confirma la idea de que la sustentabilidad depende de un subsidio a propósito que la sociedad debe proporcionar desde el mercado. La idea de que la agricultura orgánica pueda ser un buen negocio está por comprobarse.

Entonces, ¿es sustentable la tecnología tradicional o no lo es? Como se ha visto, ninguna tecnología por sí misma asegura que la intervención humana en los ecosistemas sea benigna. La agricultura de tumba roza y quema practicada en los trópicos, para dar un ejemplo, fácilmente se sale de sus límites de viabilidad cuando aumenta la presión poblacional sobre el territorio cultivable. Cuando en el pasado la población de cada aldea estaba “ajustada” a las posibilidades del medio parecía que los “controles naturales” (epidemias, catástrofes, plagas y otras fatalidades) operaban a favor de la conservación de los recursos, pero decir eso es un exceso de interpretación. Simplemente eran sucesos azarosos que a veces se presentaban cuando el agotamiento del ecosistema ya estaba cerca, a veces después, causando la ilusión de que “corregían” el estado del sistema.

La tecnología tradicional también es una tecnología extractiva, aunque en determinadas condiciones pueda ser relativamente poco dañina para el medio. La primera de estas condiciones es que la po-

blación no exceda cierto nivel de “capacidad de carga” del medio. Cuando un sistema social coincide con las fronteras de un ecosistema natural (por ejemplo, una región aislada del gran mundo), la población no tiene más remedio que minimizar el consumo. Se cumple así la condición que establece el modelo de sistema disipativo, la de “condiciones de frontera que obligan a ello”. Un sistema se estabiliza, entonces, en un nivel de mínima disipación, pero no porque haya una ley que obedecer, sino porque no hay salida hacia un consumo energético mayor. Un sistema evolutivo degrada la energía y, para poder seguir haciéndolo, se expande cuando encuentra la salida de su aislamiento. La reproducción está al servicio de esta expansión. Un sistema termodinámico abierto no puede existir sino degradando más y más energía. Cuando las condiciones de frontera no permiten más consumo energético, el sistema limita sus actividades a un mínimo, pero ese mínimo no quiere decir que no siga causando pérdidas entrópicas correspondientes. No hay “estado estacionario” en eso. El estado de cero producción de entropía indica que el sistema cesó en sus actividades.<sup>9</sup>

## La evolución aumenta la conectividad

Lo que caracteriza a las sociedades humanas es su capacidad de evadir los límites locales de crecimiento. Las sociedades siempre buscan ampliar e intensificar los intercambios energéticos más allá de sus fronteras. Lo consiguen integrándose en un *sistema inclusivo* mayor. La evolución consiste en creación de estructuras ordenadas cada vez más complejas, no consiste en la conservación en un supuesto estado de equilibrio. Las secuencias evolutivas muestran una sucesión de etapas en que los períodos de una aparente estabilidad se alternan con los del crecimiento y expansión, como he argumentado en la primera parte de este ensayo.

<sup>9</sup> En relación con esto es interesante observar cómo evolucionó el pensamiento de los partidarios de “decrecimiento sereno” de Serge Latouche (2009). A estas alturas del partido ya se acepta que sólo es posible crecer o decrecer, pero no permanecer en estado de “crecimiento cero”: el segundo principio de la termodinámica lo impide.



Las sociedades humanas son un buen ejemplo de una progresiva integración de sistemas y ecosistemas distantes que obedece a la necesidad de mantener en aumento el consumo energético. En tiempos de globalización la intensidad de los intercambios está alcanzando niveles sin precedentes. Ya nadie se ve en la necesidad de respetar las fronteras naturales o los límites del crecimiento localmente establecidos; al contrario, la expansión es la estrategia indicada a pesar de los peligros que entraña. La expansión energética no es algo que las sociedades o las economías puedan elegir o rechazar a voluntad. “Las economías están creciendo ahora porque crecieron ayer y crecerán mañana porque están creciendo hoy”, observa Georgescu-Roegen (1975: 806). Perder la oportunidad de crecimiento significaría para una sociedad perder el lugar en la carrera por la supervivencia. El proceso evolutivo normal es expansivo, como lo constata Adams (1982: 27), debido a la necesidad de contrarrestar las pérdidas entrópicas. De ahí que los economistas no puedan hablar más que de crecimiento y expansión, si quieren ser políticamente correctos.

Si bien la expansión del mercado capitalista ha llevado a la humanidad al “horror económico”, como se ha descrito la situación actual, por lo demás de todos conocida, la expansión energética no necesariamente significa más de lo mismo, más depredación y más pobreza. La naturaleza no niega y ninguna de sus “leyes” proscribe la posibilidad de tamizar la energía de manera fina (Georgescu-Roegen, 1996 [1971]). Ajustar la economía a las posibilidades de la biosfera, que es en última instancia el objetivo de la sustentabilidad, exigiría una energía extra para ello y esa tendría que salir de alguna parte. ¿Saldrá de los fondos personales de una *deep ecology* como un consenso político global? ¿Se conseguirá como resultado de las fuerzas evolutivas ciegas que están operando en esta etapa de desarrollo a favor de un decrecimiento y simplificación? ¿Será un resultado de los dos? También puede darse una serie de innovaciones tecnológicas benignas (para el medio) que podrían reactivar el crecimiento sin el cual el capitalismo, como cualquier otro sistema económico, se dirige al colapso. Un nuevo nivel de integración de las sociedades humanas

con su medio, difícil de predecir al detalle, implica para las sociedades humanas un aprendizaje de algo que la civilización occidental no había todavía entendido a cabalidad: de cómo convivir con otras formas de vida.

Hasta aquí la primera parte de la reflexión dedicada a las consideraciones teóricas. Para “aterrizar” la teoría el siguiente paso consiste en la construcción de modelos, caso por caso. Para analizar las cuestiones de sustentabilidad a escala local y temporal deben de tomarse en cuenta *unidades de supervivencia* concretas. Avances significativos en esta dirección se están dando en los estudios del *metabolismo social* (véase González de Molina y Toledo 2014). La sustentabilidad, como sistema complejo que es, solo podrá describirse en distintas claves: en clave energética, en clave metabólica, en clave económica, en clave política y en otras más.

## Condiciones de sustentabilidad

Al construir los modelos de sustentabilidad tenemos que establecer qué sistemas interactúan y cuál es el sistema reproductivo mayor, esto es, el sistema inclusivo, que es el social. De hecho, estas son las dos condiciones que definen la agricultura en general: la agricultura es “la coevolución de una serie de sistemas reproductivos que están interactuando en un sistema reproductivo mayor” (Adams, 2001). En este último nivel se decide qué cosas se reproducirán y cuáles no, esto es, a qué procesos se dedicará la energía disponible y cuáles quedarán fuera del sistema.

La agricultura consiste en un conjunto de mecanismos de re-alimentación activados con energía de diferente procedencia. La energía solar no es el único, tampoco es un flujo gratuito por el mero hecho de que el Sol salga todos los días. Capturar la energía de cualquier tipo tiene su costo, sin importar qué tan abundante sea. El trabajo, la tecnología, el transporte, el capital, la información y los demás *factores de producción* se activan con recursos que provienen de muchas partes. Los ritmos o los ciclos de producción de los procesos naturales también son de diferentes tamaños y duración. ¿Puede



este agregado de factores internos y externos llegar a una sinergia de sustentabilidad?

La respuesta es que sí, puede, pero bajo ciertas condiciones específicas. La primera condición es de “paridad de insumo”. El término *paridad de insumo* (Wionczek, 1983) se refiere a que a lo largo de toda la cadena de producción, intercambio y consumo se emplea un mismo tipo de energía en los detonadores. Los sistemas agrícolas tradicionales utilizan convertidores energéticos que se activan exclusivamente con el trabajo vivo, humano y animal. En esta circunstancia la energía que interviene en el proceso económico es de la misma calidad en todos los casos, a lo que se refiere el término de “paridad”. La agricultura tradicional opera con insumos y egresos biodegradables: todo se vuelve a utilizar, aunque con pérdidas, ya que el reciclaje también absorbe trabajo. En un agro-ecosistema tradicional todo lo que el campesino produce, también lo transporta, intercambia y consume por sus propios medios, empleando sólo las calorías que proporciona su propio cuerpo y el de los animales que lo ayudan.

En condiciones de equivalencia de insumo todo el mundo participa en el mismo juego, sin ninguna ventaja oculta.<sup>10</sup> La transparencia en el manejo de información en el acceso a los recursos es otra condición de la sustentabilidad. Cuando los productos son puestos en el mercado empleando el trabajo de los participantes el mecanismo de la formación de los precios es transparente. En estas condiciones se crea espontáneamente una *clausura operativa* (Maturana y Varela, 1997). Los flujos energéticos internos son los que activan los mecanismos de regulación y establecen la capacidad de homeostasis. En el caso de un agro-ecosistema regional las fronteras energéticas están acotadas por el costo del transporte de biomasa, y éste es el que

<sup>10</sup> Un aspecto importante de la paridad de insumo es la libre circulación de *la información*. Todo flujo energético transporta información. El sistema se define como flujo energético informado. Una descripción detallada de un sistema en condiciones de paridad de insumo se encuentra en Tyrtania, 1992. Las sociedades humanas desarrollaron una serie de dispositivos llamados genéricamente cultura, que pueden descifrar muchos tipos de información y traducir parte de ella al formato que puede manipular la mente humana. La cultura es la “libre capacidad de construir significados y asignarlos donde es conveniente, no tanto donde sería más apropiado” (Adams, 1975: 29).

impone las limitaciones al desempeño del sistema (véase Blackburn, 1999). Las fronteras, hay que subrayarlo, son interfaces de intercambio, no barreras de aislamiento, y es así como debe entenderse el concepto de clausura operativa.

En el caso de insumos parejos, tanto los energéticos como los informáticos, la sustentabilidad es el resultado de la autoorganización en el nivel regional. Ahora bien, estamos hablando de condiciones que se dieron en el pasado, de casos prístinos de evolución, como lo eran los lugares aislados, dependientes totalmente de los recursos locales. Dado que estos lugares ya no existen y dada la organización de sistemas sociales en redes cada vez más inclusivas, estas condiciones ya no se dan. Las nuevas condiciones de sustentabilidad habría que crearlas a propósito. Sin duda esto sería muy oneroso desde el punto de vista económico y energético, pero sólo una sociedad dispuesta a cubrir estos costos podría sortear los peligros de la debacle ecológica que se avecina. Ya sabemos, la biosfera *como hábitat humano* está en serios problemas. Con la facilidad con la que cuenta el sistema del mercado capitalista de transferir la huella ecológica de aquí para allá y a todas partes (una facilidad sostenida por el transporte basado en la coyuntura del petróleo barato), se están destruyendo los últimos ecosistemas sanos que todavía podrían ser el semillero de especies amenazadas por la sexta gran extinción en marcha.

Para que se alcance un estado de sustentabilidad en un nuevo nivel de integración debe producirse una transición energética del sistema entero en el que se dé un acoplamiento de flujos a partir de una nueva paridad de insumos y esta vez *también de los egresos*. Este es el argumento a considerarse: el control de egresos con alto contenido entrópico tiene su propio costo energético. En los análisis económicos se pasa sistemáticamente este aspecto por alto promoviendo la idea de que la sustentabilidad no produce daños al medio. Toda actividad energética deja una huella ecológica. Negarla tan sólo por el hecho de que nadie quiere pagar por ella no es una buena estrategia. Una “nueva sustentabilidad” en un nivel más alto de consumo ener-



gético deberá tomar esto en cuenta y atenderlo con un presupuesto especial designado para tal propósito.<sup>11</sup>

Desde los primeros avances de la industrialización a costa de los flujos de “alta energía” la capacidad de autorregulación de los sistemas invadidos se perdió por completo. En palabras de Gregory Bateson (1991), una civilización que se erigió con la consigna de ser dueña de la naturaleza y dispuso de una tecnología para probar lo anterior, no puede sobrevivir más que “en el infierno que ella misma creó”. El infierno al que se refiere el autor —una metáfora que se entiende particularmente bien desde el enfoque energético— es el aceleramiento vertiginoso de la quema de combustibles fósiles. Proponer en estas circunstancias un desarrollo “más sustentable” (¿más del que ya tenemos?) para salvar el mismo desarrollo industrial devastador es un desatino de quien piensa que se puede administrar un infierno.

## La sustentabilidad y sus modelos

Si bien la “civilización de la máquina” proporciona el contexto global —el modo de producción capitalista— que ya está presente en todos los rincones de la Tierra y no está dispuesto retirarse, unas islas de sustentabilidad están formándose por doquier. Por ahora son invisibles. En los medios, en la academia y en los foros de discusión sobre las políticas públicas se pone el acento en el *agro-business* insistiendo que son las trasnacionales las que alimentan al mundo. El dato duro, sin embargo, es que los alimentos producidos mundialmente provienen, según la FAO (2014), de granjas, de las cuales el 80% son unas pequeñas granjas campesinas de menos de una hectárea de superficie. Son granjas que operan con un mínimo de insumos energéticos, bajos costos tecnológicos y una organización de la producción de las más baratas que hay en el mundo: son unidades familiares cuyo secreto es la auto-expLOTACIÓN de su propia

<sup>11</sup> El problema de la civilización moderna es que el control de egresos (básicamente basura, desechos tóxicos, contaminación atmosférica y formas de alta entropía que permanecen en el medio) representa un costo adicional y mientras esto no sea un buen negocio, el mercado no se hará cargo del asunto.



mano de obra. En el mundo contemporáneo “paradójicamente” estas familias pasan hambre, porque el mercado les extrae el excedente que interesa, tanto en productos, como en trabajo estacional. Son las compañías trasnacionales las que procesan estos productos y luego los comercializan dando la impresión que ellas son las que alimentan la población mundial. Mal que bien los campesinos sobreviven al margen del mismo mercado capitalista gracias a su eficiencia ecológica local, manejando sistemas de baja producción a pequeña escala, la que dedican en parte al autoabasto y en parte a la venta. Más arriba he argumentado que, por la pobreza que le persigue, la agricultura de autoabasto no es precisamente un modelo a seguir. En su forma actual de explotación el autoabasto no puede ser el modelo de sustentabilidad. Sin embargo, algunas de sus prácticas basadas en el manejo de flujos energéticos compatibles con el ecosistema local podrían servir de modelo cuando las circunstancias cambien. Tiene que darse el cambio de un mercado global expropiador a otro, uno que respete las reglas de juego más equitativas, como las de “comercio justo”, por ejemplo.

A lo largo y ancho del mundo existen ejemplos de una suerte de “sustentabilidad autárquica” que practican comunidades que se ganan la vida con el trabajo propio y en condiciones cercanas a las descritas más arriba como paridad de insumos, transparencia de reglas de acceso a los recursos y clausura operativa local-regional. Desde tiempos atrás los grupos de menonitas, los amish, algunos *kibutzim* y últimamente las así llamadas eco-aldeas, para dar unos cuantos ejemplos, demuestran que una agricultura sustentable, en el sentido de asegurar la autosuficiencia alimentaria y respetar las condiciones del medio local es posible cuando se tiene solucionado de alguna manera el problema del aumento poblacional y la disposición de los residuos. Esos intentos de producir la subsistencia con los recursos locales no son nada nuevo en la historia. Desde los conventos de la cristiandad antigua, los *ashram* de la India de Mahatma Gandhi, hasta todo tipo de comunas autárquicas esparcidas por el mundo, se ha ensayado la sustentabilidad a partir de las condiciones como las descritas más arriba. En la Internet abundan sitios que instruyen so-



bre los principios de horticultura, permacultura, hidroponía y otros experimentos que se hacen alrededor del mundo. La sustentabilidad o agricultura de bajo impacto ambiental no están reñidas con la tecnología avanzada ni con la organización moderna de la producción.

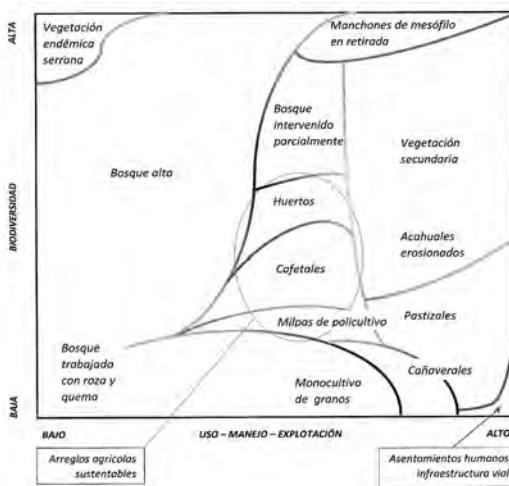
Todos estos intentos, por alguna razón omnipresentes en la historia de las sociedades humanas, por ahora no serán una solución inmediata para salvar al mundo del hambre. Sin embargo, cuando se presente la necesidad de sanear los sistemas agrícolas locales y reconstruir las economías regionales se verá su verdadera importancia. Las circunstancias pueden cambiar abruptamente y en cualquier momento, recordemos que los procesos evolutivos son no lineales y azarosos. En el caso de la bancarrota del sistema económico actual, un sistema salvajemente injusto, estos grupos podrían tener ventajas insospechadas: de cambiar el escenario serán un modelo a seguir. Se reproducen horizontalmente, que es el modo más barato de perpetuarse en términos de energía y comparándolo con la reproducción vertical basada en tecnología intensiva. Tienen una eficiencia fundada en convertidores orgánicos, lo cual hace que no estén forzando mucho el medio del que dependen. Viven austera mente, sin abusar del consumo. Evitan o limitan insumos industriales (agroquímicos, combustibles fósiles, maquinaria), de modo que no contaminan demasiado. Al prescindir de los insumos de “alta energía” están automáticamente fuera de la competencia del mercado, pero se contentan con una existencia sencilla al margen de los problemas del gran mundo, cuya dinámica evolutiva de todos modos está fuera del control humano. Si en las condiciones actuales estas comunidades no representan un atractivo para la otra parte de la humanidad, es porque la misma está embarcada en una especie de huida hacia adelante cabalgando sobre los flujos de energía indomables.

La sustentabilidad es necesariamente un fenómeno local, que sólo puede manejarse como un agro-ecosistema diseñado dentro de los límites de un ecosistema regional, generalmente identificable con una cuenca pluvial o comarca reconocible como un ecosistema. La proporción entre la biota intacta y la biota intervenida sería un indicador del nivel de sustentabilidad. El punto es que el mantenimiento

de este estado tiene costos especiales. A los campesinos se les exige que subvencionen ellos mismos (con el trabajo no remunerado) el funcionamiento de sus sistemas y que sean “guardianes ecológicos” de su territorio, pero ellos mismos se preguntan a qué se refiere este discurso.

Si bien la agricultura de un mínimo impacto sobre el medio tiene que apoyarse en el subsidio, la productividad de la misma no dependerá de éste, sino también del estado de la región o la cuenca hidrológica con todo que hay en ella. El entorno tiene que ser un entorno sano. En todas partes del mundo se están desmontando selvas y bosques enteros para la ganadería o para el monocultivo de productos mercantiles, sin reparar en las consecuencias de esto sobre los ciclos naturales del agua, el carbono y los nutrientes. Tampoco se piensa en los daños que hacen los biocidas a las especies no cultivadas. Una adecuada proporción entre la biota no intervenida, la intervenida parcialmente y la cultivada (un cálculo de esto para una región específica véase en Tyrtania, 1992) es la condición básica de la sustentabilidad. Las áreas de “sustentabilidad inducida” integran un mosaico con los demás usos del suelo de distinto grado de intervención, como puede verse en el siguiente diagrama.

Diagrama 1. Sustentabilidad y condiciones del entorno



Fuente: elaboración propia, adaptado partir de Cox y Atkins (1979: 53).

El grado de sustentabilidad es medible a partir de la proporción entre la superficie barbechada para el cultivo y la que está cubierta de vegetación. En la Sierra Zapoteca del Rincón de Oaxaca, por ejemplo, la proporción favorable a la sustentabilidad es de 15 a 85 %, respectivamente (véase Tyrtania, 1992). El diagrama indica la superficie total a considerar que es el área identificable como cuenca pluvial o ecosistema. La cantidad de población que pueda alimentarse con este sistema es constante y se ajusta mediante varios mecanismos de regulación de origen social (ritual de trabajo, tamaño de la unidad doméstica, migración y otros).



Mientras que la sustentabilidad depende de la biodiversidad y los demás recursos locales, así como de los ritmos de la reposición de esos recursos, de la optimización de los mismos y de la adecuada deposición y el reciclaje de los desechos, el mercado capitalista favorece lo contrario: el monocultivo y la productividad basada en insumos artificiales. En cuanto a una posible sustentabilidad acotada a determinados productos “orgánicos” o la sustentabilidad en pequeña escala orientada al autoabasto, más los experimentos de economía autárquica mencionados arriba, todos éstos son ejemplos de diferentes modelos de sustentabilidad disponibles por ahora. La reflexión desde la academia sobre estos modelos tiene varias vertientes, de las cuales mencionaré algunos a manera de ejemplos que me parecen representativos.

El así llamado MESMIS (Astier *et al.*, 2008) es un manual de procedimientos para la evaluación de sistemas sustentables. Llama la atención que los autores no propongan ninguna definición de la sustentabilidad.<sup>12</sup> Por lo visto prefieren no comprometerse con ninguna teoría en particular, probablemente para evitar discusiones sobre problemas espinosos, tales como la cuestión del crecimiento de la población. Retomaré este asunto más adelante. El manual MESMIS es de utilidad, creo, para los tiempos de experimentación y búsqueda. El MESMIS explora la posibilidad de una doble adaptación, la adaptación al medio natural local, por una parte, y al mercado, por la otra. Los autores se proponen escribir un manual de “desarrollo sustentable”, entendido éste como una especie de bio-economía en pequeña escala. Se trata de recuperar la tecnología tradicional y combinarla con algunos insumos industrializados. La sustentabilidad se entiende como una sana proporción entre los insumos naturales y los artificiales, como puede deducirse de los modelos “tipo amiba” elaborados para el libro. Se argumenta que el proceso económico debe incorporar “las variables ecológicas” para aprovechar la renovabilidad de la naturaleza.

12 En la primera página del prefacio los autores declaran que el concepto es “extremadamente difícil de definir y poner en práctica de manera coherente” (2008: 9). Más adelante dicen que el concepto ha cobrado cada vez mayor importancia, que es un meta-concepto de aplicación universal, que es complejo y multidimensional, pero de todos modos no dan ni una sola definición del mismo.

Un programa propuesto desde otra trinchera y que tiene eco entre quienes piensan que estamos en tiempos de crisis de grandes proporciones, pero que todavía hay tiempo para reaccionar, es el de Serge Latouche, quien ve en el “descrecimiento sereno” (*sic!*) y la autosuficiencia alimentaria regional una *salida de emergencia* para cuando deje de funcionar “la economía ficción que vivimos todavía ahora” (Latouche, 2009; véase también Álvarez, 2010). Los tiempos que vienen dirán cuánta razón tiene. El autor conoce muchos lugares de África donde pudo observar cómo se da la supervivencia de comunidades campesinas, autosuficientes por necesidad, abandonadas a su suerte por el Estado fallido y amenazados por el mercado en expansión. En México las comunidades campesinas del *hinterland* están en esta situación desde hace muchos lustros y las comunidades que representa el EZLN en rebeldía son un botón de muestra de supervivencia en condiciones adversas. Los voceros del movimiento dicen que es necesario forjar una *otra economía*, según esto “fundada en los potencialidades de la naturaleza y en la creatividad de las culturas; esto es, en los principios y valores de una racionalidad ambiental” (Leff, 2008).

Un autor cuya obra marca la pauta como precursor de la “economía ecológica” es el economista Nicholas Georgescu-Roegen (véase la bibliografía). Un ejemplo de grupos de investigadores inspirados en sus ideas es el de MUSIASEM de la Universidad de Barcelona.<sup>13</sup> El ideario de la socialdemocracia keynesiana, basado en el eslogan del “desarrollo sostenible”, está en crisis porque el crecimiento económico ya no es sostenible, observa Martínez Alier (2008). De ahí la búsqueda de alternativas. La tesis central de la escuela de Barcelona es que el “metabolismo social” obedece a la dinámica energética cuya eficiencia debe estudiarse caso por caso, porque los bienes que produce se valoran de distinta manera en cada cultura. González de Molina y Toledo en una publicación sobre este tema (2014) abogan por un “nuevo metabolismo”, el de la sociedad sustentable.

13 <http://www.societalmetabolism.org/musiasem.html>



## El argumento de la eficiencia

¿Podrá ser la agricultura sustentable más eficiente que la intensiva? Depende de qué factor de producción interese, no hay una eficiencia absoluta. La evolución, a su vez, no se limita a la optimización de los recursos en todas las circunstancias. Se ha visto que la evolución promueve al sistema capaz de expandirse. Algunos recursos son escasos, deficientes, limitantes, de modo que sí, deben optimizarse. Otros son abundantes y profusos, de modo que su manejo no representa más problemas que el de la entropía que este manejo produce. En ciertas condiciones la selección consiste en optimización de flujos energéticos y, en otras, en su maximización.

Las sociedades humanas son sistemas expansivos y sobreviven gracias a la disipación de energía. Los partidarios de la sustentabilidad entendida como estado estacionario (un proceso económico de crecimiento cero), argumentan que una mayor eficiencia es la solución a todos los problemas. Pero el argumento a favor o en contra de la eficiencia no se puede esgrimir como definitivo debido a que la eficiencia siempre es relativa. Una eficiencia absoluta (el aprovechamiento al cien por ciento de energía) es imposible. Solo podemos hablar de eficiencia específica, medida por un factor que interesa. Por ejemplo, en relación con la mano de obra humana, con un determinado flujo energético, con el capital y con otros “factores de producción”, pero no en relación con todos los indicadores a la vez. Cuando alguien dice: “Este sistema es el más eficiente”, siempre tenemos que preguntar en relación con qué factor de producción. La eficiencia energética, la que se mide en calorías, no es lo mismo que la eficiencia económica, la que se mide en dinero. De ahí que ninguna de las eficiencias puede constituirse en un criterio objetivo, porque la supervivencia de un sistema complejo no depende de un solo factor, de un solo flujo o de un tipo de regulador. La supervivencia en ocasiones se ve subordinada a la eficacia, esto es, a la consecución de un objetivo sin importar el costo con base en el cálculo de la eficiencia.

Recordemos una vez más que un sistema abierto debe considerarse como un todo incluido el medio. Recordemos también que la



eficiencia termodinámica de un sistema como un todo sólo puede ir a la baja. Tomando en cuenta estas consideraciones damos con la falla del razonamiento basado en la eficiencia económica, esgrimido por la corriente neoliberal como definitivo. Los cálculos económicos de la productividad hacen un recorte de la realidad y nunca toman en cuenta cómo la producción afecta al medio. Sólo por eso pueden mostrar el balance positivo de una eficiencia llamada económica. El dinero es una conveniencia socialmente establecida. “La importancia del dinero —como nos lo recuerda Woody Allen— se debe a razones estrictamente económicas”. En términos económicos, pues, la agricultura moderna es más eficiente que los sistemas cercanos a la sustentabilidad de baja entropía, porque se han eliminado del cálculo los costos ecológicos. La agroindustria es competitiva gracias a los múltiples subsidios que recibe, la mayoría de ellos ocultos a simple vista. Por otra parte, los cálculos sobre la eficiencia económica no tienen mucho que ver con la eficiencia energética. La agricultura altamente tecnificada no ahorra la energía, sino todo lo contrario. ¿Cuál es su ventaja, entonces, si es que la tiene?

Es posible que la agricultura intensiva ahorre el tiempo, aunque arruine ambientes, como lo está haciendo con muchos, si no es que con todos. “El tiempo es energía”, se ha dicho, y de algún modo hay que ganárselo. El tiempo es importante para la supervivencia, sobre todo cuando se está gestando la siguiente etapa de la expansión evolutiva. Lo anterior es más cierto todavía si la siguiente etapa es el colapso. El tiempo disponible es lo que importa. El tiempo corre a distintos ritmos, se acelera cuando el sistema crece, se dilata cuando el sistema madura y se acaba cuando el sistema se deteriora. La consideración de la dinámica energética nos lleva al fondo del asunto: la pregunta por la sustentabilidad es, en realidad, *la pregunta por el tiempo que nos queda*. ¿Tenemos todavía suficiente tiempo para aprender una agricultura acorde con el funcionamiento de los ecosistemas locales? ¿Tenemos suficiente tiempo como para construir una red de intercambio más segura, justa y solidaria que la del mercado capitalista? Según los datos de la FAO citados más arriba la



agricultura tradicional de las pequeñas granjas campesinas alimenta la población mundial en un 75%, así que la pregunta no es ociosa.

El tiempo, ¿hace falta recordarlo?, es irreversible. Por lo demás, no corre igual para todos y los intercambios entre los sistemas se dan a distintos ritmos. Para que haya interacción entre los sistemas, los ritmos de intercambio deben sincronizarse. Resulta que el sistema capitalista no sabe cómo sincronizar sus ciclos productivos con los de la biosfera, de ahí la sociedad de “riesgo globalizado” que vivimos. En resumidas cuentas, el problema consiste en el ritmo en que se extrae la energía y se transfiere la entropía al medio. Una pregunta sensata relacionada con la sustentabilidad sería la siguiente: *¿qué cantidad de gente y durante cuánto tiempo puede sostenerse con los recursos de un determinado medio?* (Georgescu-Roegen, 1975). Lo que cuenta es la velocidad a la que se suministran los alimentos para un mundo en constante crecimiento. En las circunstancias actuales la agricultura de altos insumos energéticos, la intensiva, solo puede sustituirse por otra agricultura más intensiva todavía. A estas alturas del partido no se la podría sustituir por sistemas que produzcan orgánicamente. Sería como pretender sustituir el corazón artificial de este cyborg que es la sociedad tecnificada (la metáfora es de Giampietro, 2005) por uno orgánico, que suministra el alimento a un ritmo mucho más lento. La pregunta por la sustentabilidad es a qué velocidad se producen los alimentos, para cuantas personas y en qué medio. Si un análisis no tiene en cuenta estas cuestiones es porque no estableció una definición clara de su objeto de estudio. A más consumo, mayor demanda de sistemas intensivos de producción. Un planteamiento de sustentabilidad que no tome en cuenta el aspecto demográfico estará desenfocado.

Las sociedades humanas, desde siempre y por múltiples medios a su alcance, han procurado escapar de los controles ecosistémicos locales. Estos controles representan el método preferido de la naturaleza para ajustar las exigencias de cada especie a las posibilidades del medio. Ahora bien, todas las especies por igual tratan de evadirlos. Todas las especies, no solo la del *Homo sapiens*, obedecen la orden divina de “creced y multiplicaos”. De este juego resulta la evolución,

la evolución social también. ¿Qué es lo que salió mal, entonces? Pues nada, la expansión seguirá hasta que algún flujo de energía contribuyente presente su forma residual.

## La evolución de la biosfera está fuera del control humano

Tal vez ésta sea la conclusión más incómoda del evolucionismo, la que lo hace impopular y difícil de aceptar. En las ciencias sociales el supuesto más socorrido es que la sociedad es por entero un invento humano y se asume de entrada que lo social se explica por sus propias leyes. Pero los hechos no se acomodan fácilmente a estas tesis.

La promesa decimonónica del progreso ha desembocado (...) en sobre población y miseria económica generalizadas. Resulta difícil imputar todo ello al deseo, a la intención y a la planificación deliberada de los seres humanos. 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*. 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, énfasis mío.)

Pensar que podríamos controlar la evolución es una ilusión infantil de quien se cree el dueño del universo. El enfoque evolucionista desmiente esta creencia, pero algo se puede aprender de él. Por ejemplo, cómo usar la energía con más cuidado, gastarla a un ritmo conveniente y redistribuir los peligros de su uso de manera más ecuánime. Lo que aporta la discusión sobre la sustentabilidad al problema de la supervivencia de las sociedades humanas es la creciente conciencia de que los participantes en este proceso no sólo somos los humanos, sino todos los seres vivos, además de los *actantes* del medio físico. La sustentabilidad se asocia de manera casi instintiva con el mantenimiento de la biodiversidad y la “protección del entorno”.



La expansión de las sociedades humanas hasta ahora se da a costa de una irreflexiva y precipitada destrucción del hábitat. En cuanto la evolución social, lo que tal vez podría controlarse es la dirección del desarrollo, la de ciertos patrones de producción-consumo y la velocidad del desgaste. Por el aprendizaje lento que implica, la sustentabilidad difícilmente será una solución global inmediata, ya que la cantidad de personas que viven hoy día en las ciudades exige el suministro expedito de alimentos. Y, sin embargo, este aprendizaje es parte de una posible salida de la crisis, porque el desempeño de la biosfera necesita de agro-ecosistemas de bajo impacto ambiental.

La participación de la sociedad en esto es decisiva, pero no porque la misma tenga el control sobre los procesos naturales o las herramientas tecnológicas suficientes para remediar la crisis que causó, sino porque las propuestas que surgen desde los agro-ecosistemas de bajo impacto ambiental serán las que la selección-autoorganización considere. Cuando se acabe la época del petróleo barato sostener unidades productivas de altos insumos energéticos ya no será tan fácil. La transferencia de la huella ecológica de un continente a otro terminará, de modo que cada lugar tendrá que arreglárselas por su cuenta. Es posible que la producción de alimentos se organice en unidades regionales interconectadas que no podrán recurrir a insumos químicos peligrosos. Los modelos concretos de sustentabilidad se irán propagando en la medida en que queden verificados en la práctica en cada lugar. Es que en determinadas circunstancias sobreviven los segmentos viables. Estos segmentos pueden ser “bloques de construcción” de un arreglo mayor sólo si logran un estado de mínima producción de entropía, esto es, si logran estabilizarse en un estado de madurez respetando las condiciones locales.

Mucho de lo que se discute sobre la crisis civilizatoria actual se enfoca desde el voluntarismo político. Así como hemos llenado el planeta de basura, se argumenta, podemos dejar de hacerlo, si nos lo proponemos. Pues eso no funcionará así. La contaminación industrial es un efecto espontáneo del procesamiento de energía y materiales, la descontaminación, en cambio, exigiría un expendio a contracorriente, el cual sumaría adicionalmente su propia entropía

a las formas desgastadas que procesar. La lucha contra la entropía también genera entropía. Es normal que las cosas se desgasten, se desintegren y se enfrién por sí solas, gratuitamente. En cambio, recuperarlas para el trabajo, reciclar lo que se puede, descontaminar el aire y los mares, neutralizar la basura peligrosa para la vida y enfriar el planeta exigiría un esfuerzo extraordinario y una energía descomunal destinada especialmente para estos fines. La humanidad está lejos de poder organizarse como una unidad operativa para realizar tal esfuerzo. Lo que sí podrá suceder es que las circunstancias resultantes del cambio climático obliguen a algunas sociedades concretas a adoptar estrategias “alternativas”. Alternativas a las del progreso industrial-militar. Estas sociedades tendrían ventajas evolutivas en el caso en que se agote el modelo extractivista que no retribuye nada al medio. Entonces el medio decidirá cuáles son las formas de vida viables. Hasta entonces podremos comportarnos como si fuéramos los dueños de la naturaleza, después ya no va a ser posible.

## Conclusiones

No tiene sentido hablar de sustentabilidad como “proceso productivo que no causa ningún daño al medio y se mantiene por un tiempo indefinido”, como puede leerse en los manuales e instructivos del gobierno. La sustentabilidad, entendida como el estado local-temporal de una mínima producción de entropía con el máximo empleo de la energía libre proveniente del ecosistema circundante, nunca se da por sí sola o espontáneamente. Se necesitarán insumos específicos para la implantación y el mantenimiento de tal sistema y esto solo es posible en un régimen social que organizaría el suministro de alimentos explícitamente con el propósito de dañar lo menos posible el medio.

La organización de sistemas sustentables necesita, por una parte, de cierto ambiente benigno y, por la otra, del subsidio de la sociedad. Una condición *sine qua non* es que la biosfera funcione tal y como funciona hasta ahora, porque fuera de la misma es difícil imaginar un futuro para la especie humana. En cuanto al dilema de “depreda-



ción *versus* sustentabilidad”, el enfoque evolucionista permite elucidar un desenlace a largo plazo, aunque a modo de hipótesis. Será la biosfera —en tanto el conjunto de factores ambientales de alcance global— la que tendrá la última palabra.

Hasta ahora, la propuesta del “desarrollo sustentable” está construida sobre un presupuesto falso de la gratuidad de una naturaleza dadivosa y domesticable. Los agro-ecosistemas como *unidades operativas* de supervivencia están sometidos a la dinámica de flujos energéticos, los cuales son *irreversibles, estocásticos, no lineales* y operan *fuera de equilibrio*. Es así como se conceptualiza la naturaleza en la ciencia contemporánea. La necesidad de expansión de las unidades de supervivencia está enraizada en la historia profunda de los sistemas evolutivos en tanto sistemas físicos, orgánicos, sociales y económicos, todos ellos *sistemas disipativos*. El apuro entrópico los obliga a moverse hacia un máximo de consumo energético con una tasa mínima de disipación en la fase de madurez. Las sociedades humanas no son ninguna excepción en este sentido. Agotadas las posibilidades individuales, la salida del aprieto consiste en constituirse mediante la autoorganización en sistemas inclusivos cada vez más complejos, que procesan cada vez más energía, materiales e información, pero que finalmente producen entropía a una tasa aceptable para el medio. El estado estacionario global, en el sentido de válido para todos los sistemas, es una *imposibilidad termodinámica*. En un régimen fuera del equilibrio nada puede eliminar las fluctuaciones y la incertidumbre. El todo está fuera del control de cualquiera de sus partes. La dinámica elemental de la evolución está fuera del control de la sociedad humana.

En el mercado de discursos “medioambientales” predomina el del desarrollo sustentable, porque el consenso se logra a costa de una deliberada indefinición de los conceptos básicos. La sustentabilidad será “extremadamente difícil de definir” (Astier *et al.*, 2008) mientras no se adopte una posición teórica más allá del eclecticismo imperante. Generalmente se recurre a la ecología, sin embargo, ésta no puede por sí sola abordar la problemática social. La sustentabilidad es un concepto eminentemente antropocéntrico que no tiene

parangón en ciencias naturales. Se ha visto que el estado de madurez de un ecosistema no intervenido no es el modelo de sustentabilidad para la agricultura, ya que ésta nunca es resultado de la autoorganización en el nivel puramente ecológico.

El principal defecto de los discursos sobre la sustentabilidad es que invariablemente pasan por alto el problema del crecimiento de población y la tasa de reemplazo. Los sistemas evolutivos son unidades de supervivencia físico-biológicas y se reproducen como tales. Eso se refiere también a las sociedades humanas. Pero ese es el tema tabú en la discusión sobre la sustentabilidad. No hay un solo modelo de “desarrollo sustentable” que incluya el aspecto poblacional. Cuando se menciona la “capacidad de carga” de los ecosistemas, se la trata como si fuera siempre constante y no sufriera alteración alguna con la presencia humana. La economía de las sociedades industrializadas siempre tuvo el grave problema de no poder incorporar la mano de obra al mercado de trabajo. Para la mayor parte de la población ese “desarrollo” no es nada sano que digamos. Tampoco lo es para el medio. Proponer una variante “sustentable” del mismo “desarrollo” es un despropósito.

Al volverse las sociedades humanas más dependientes de su medio y cada vez más interdependientes entre sí, surgen más riesgos, eso es, oportunidades y peligros. Las sociedades contemporáneas están atrapadas en la disyuntiva de conservar las bases biológicas de la existencia humana y/o seguir el desarrollo tecnológico-industrial-militar. Este último las puede catapultar hacia configuraciones extremadamente artificiales e incompatibles con los patrones de la evolución orgánica. En este momento histórico algunas sociedades ya tienen acceso a fuentes energéticas independientes de los ciclos vitales de la biosfera, como por ejemplo, la energía atómica, así como a las fuentes de información sumamente sofisticadas, tales como la ingeniería genética. Si es cierto que ya se están desarticulando algunos ciclos naturales importantes y que está en marcha la sexta extinción de formas de vida en masa, entonces el dilema planteado no tiene solución de compromiso, sino apostar por la vida. Si bien los ciclos vitales nunca garantizaban el equilibrio, estaban acoplados entre sí



en un estado fluctuante dentro de cierto rango, permitiendo que la riqueza de formas aprovechara la energía disponible y compensara las mermas. Al construir los nichos nuevos y al tejer las redes más inclusivas de participación, los sistemas vivos se refugian en la complejidad. Ahora bien, es imposible prever cuál es el límite de la complejidad y de las posibles combinaciones a futuro.

Algo así como un “salto cuántico” hacia otro nivel de consumo energético mayor (medido *per capita*), pero no tan destructivo con el medio como el nuestro, debería permitir a las sociedades humanas permanecer en el juego de la evolución. El nuevo modelo de relacionarse las sociedades humanas al interior de su hábitat, el *oikos* que tienen que compartir con otros seres vivos y los actantes “no humanos”, dependerá de la calidad de los mecanismos de regulación y de la adecuada disposición de desechos tóxicos. Tal arreglo, o un nuevo nivel de integración, será más complejo que todos los arreglos que conocemos hasta ahora, y no una simplificación o regreso hacia la época preindustrial o al “estado de naturaleza”. Los procesos evolutivos son irreversibles. El pasado condiciona, pero no deja mucho que copiar al momento del cambio. Si se pudiera dar un salto hacia la mínima disipación compatible con el entorno ecológico-social, tal salto dependerá de la información acumulada hasta ahora y de la nueva, esto es, de la tecnología que esta información produce. (También es posible que se dé una fragmentación de las sociedades humanas y una sub-especiación al interior o entre las mismas, lo cual tampoco sería un regreso evolutivo.)

Nadie sabe qué novedades traerá el conocimiento. Este es el aspecto que dificulta enormemente la discusión de los “límites del crecimiento”. El argumento de que un sistema no puede crecer continuamente en un medio limitado, es una parte del razonamiento. La otra es que la evolución consiste precisamente en superar los límites locales de consumo energético. Al ampliar y multiplicar las interfaces de intercambio la evolución construye sistemas cada vez más compenetrados, mejor informados, que integran más energía en sus ciclos, pero que también están más expuestos a la incertidumbre del apuro entrópico. De modo que un “otro mundo” es posible, pero

más lejos de equilibrio que el nuestro. La creencia de que la humanidad pueda vivir en un estado estacionario y por un tiempo indeterminado no tiene más sustento que en el mito del paraíso perdido.

El clamor por un mundo “más sustentable” crece a la par con la conciencia ecológica. Sin embargo, la conciencia por sí misma no es suficiente para que cambie el rumbo de la civilización de la máquina. La dirección que marca el uso intensivo de energía tiene su propia inercia. A nadie le conviene bajar de un tren en marcha. El aprendizaje social de cómo manejar los riesgos de una crisis ecológica y civilizatoria global tendrá sus costos y llevará su tiempo. Lo cierto es que “si no aprendemos cómo compartir el mundo, pronto no habrá más mundo que compartir” (Latour 2010). ¿Cómo se aprende eso? Ensayando la diversidad y prestando atención a lo que depara el tiempo en cada lugar. Luchando por la autodeterminación y la soberanía alimenticia regional. La evolución —entendida aquí como una manera de producir entropía— tiene incorporado un mecanismo de variación / selección cuyo otro nombre es *ecopoiesis*. Los experimentos en marcha de sistemas sustentables, aquellos intentos de producción de alimentos que no son excesivamente exigentes con el medio, son un semillero de una variedad de prácticas cuya importancia se verá con el cambio de condiciones climáticas, económicas, políticas y sociales. La selección consiste en experimentos de tipo “ensayo y eliminación del error”. La materia prima de la selección es la diversidad de sistemas de todo tipo. Estos sistemas son seleccionados cuando se ensamblan en redes inclusivas de todo tipo, locales, regionales, nacionales, etcétera. La selección, que no es otra cosa sino la *autoorganización* de sistemas, promueve los arreglos compatibles entre sí. La evolución es el arte de lo posible, no un camino hacia la perfección o una vía para encumbrar una especie en particular. Más nos vale que prospere la diversidad, porque ésta es la matriz en la que se incuban sistemas viables. En cuanto a los agro-ecosistemas, no tiene mucho futuro favorecer sistemas simplificados y mutilados, como lo son los monocultivos con especies genéticamente uniformadas, sostenidas con base en biocidas. El nombre del juego evolutivo es diversidad.



¿Qué ganamos, pues, con el enfoque energético? Tener presentes los principios de la termodinámica, las pautas de la evolución y los modelos que proporciona la energética social previene contra muchas distorsiones y autoengaños colectivos. “Mejorar el medioambiente” es un mantra al que nos hemos acostumbrado, porque nos gusta creer que con la gestión humana el mundo está mejor que sin ella y que podemos mejorarlo todavía más. La retórica del desarrollo sustentable se basa en un pensamiento defectuoso, que no toma en cuenta el hecho más elemental de la vida, a saber, que todo “avance” en la dirección que sea se paga con el desgaste del medio. El desgaste entrópico es inevitable y no conoce excepciones.

La verdad, no obstante ser desagradable, es que lo más que podemos hacer es prevenir cualquier deterioro innecesario de los recursos y del medio, pero sin pretender que sabemos lo que significa exactamente “innecesario” en este contexto (Georgescu-Roegen, 1975: 805).

A la sustentabilidad le vendría mejor el membrete de “deterioro necesario”, porque no hay sustentabilidad ecológicamente gratuita, sino que es de quien la trabaja. Puede decirse que la sustentabilidad es “de quien la teje, la alimenta, la cuida y la protege, la comparte, la proyecta y la sueña como esperanza” (Toledo y Ortiz-Espejel, 2014: 139). Mas el tiempo dirá. La esperanza es la forma más sutil de la energía.

## Referencias bibliográficas

- Adams, Richard N. (1975), *Energy and Structure: A Theory of Social Power*. University of Texas Press, Austin. Traducción española: *Energía y estructura*. FCE, México, 1983.
- (1982), *Paradoxical Harvest*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (2001), *El octavo día*, UAM, México. [Original inglés *The Eight Day: social evolution as the self-organization of energy*, University of Texas Press, Austin 1988.]

Adams, Richard N. (2005), “Evolución cultural y energía”. Traducción del inglés del artículo publicado en *Encyclopedia of Energy*, Elsevier, Nueva York 2004, disponible en el sitio [uam-antropologia.info](http://uam-antropologia.info)

Álvarez Lozano, Luis J. (compilador) (2010), *Un mundo sin crecimiento*. Centro de Estudios Ecuménicos, México.

Astier, Marta, Omar R. Masera y Yunkule Galván-Miyoshi, coordinadores (2008), *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. SAE /CIGA / COSUR /CIECÓ /UNAM /GIRA /MundiPrensa /FIAES, México.

Bateson, Gregory (1991), *Pasos hacia una ecología de la mente*. Planeta/ Carlos Lohlé, Buenos Aires.

——— (1993), *Espíritu y naturaleza*. Amorrortu, Buenos Aires [original inglés 1979].

Boulding, Kenneth E. (1968), *Beyond Economics*. University of Michigan Press, Ann Arbor. Brooks, Daniel y E.O. Willey

——— (1988), *Evolution as Entropy*. The University of Chicago Press, Chicago.

Cox, George W. y Michael D. Atkins (1979), *Agricultural ecology*. Freeman, San Francisco.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2014), *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Versión oficial de la página FAO.

García, Ernst (1999), *El trampolín fáustico. Ciencia, mito y poder en el desarrollo sostenible*. Colección Gorgona, Valencia.

Georgescu-Roegen, Nicholas (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Harvard. Traducción española: *La ley de la entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria, Madrid 1996.

——— (1975), Energy and the economic myths. *The Southern Economic Journal*, volumen 41, número 3, Chapel Hill, North Carolina. Traducción española: Energía y mitos económicos, *El Trimestre Económico*, XLII (4), número 168, México 1975.



- Georgescu-Roegen, Nicholas (1981), Afterword. En Rifkin, Jeremy y Tom Howard, *Entropy*, Batnam Books, Nueva York. Traducción española en Tyrtania 1999.
- Giampietro, Mario, Kozo Mayumi y Giuseppe Munda (2005), Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability. Elsevier Publishing versión electrónica disponible en la Red.
- González de Molina, Manuel y Víctor Toledo (2014), *The Social Metabolism. A Socio-Ecological Theory of Historical Change*. Springer, Heidelberg.
- Herrmann-Pillath, Carsten (2013), *Foundations of Economic Evolution. A Treatise on the Natural Philosophy of Economics*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham UK.
- Jacorzynski, Witold (2004), *Entre los sueños de la razón. Filosofía y antropología de las relaciones entre hombre y ambiente*. CIESAS/Miguel Ángel Porrúa, México.
- Latouche, Serge (2009), *Decrecimiento y posdesarrollo. El pensamiento creativo contra la economía del absurdo*. El Viejo Topo, Madrid.
- Latour, Bruno (2010), “Atmosphère, atmosphère”. En García-German, Javier, *De lo mecánico a lo termodinámico. Por una definición energética de la arquitectura y del territorio*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Leff, Enrique (2008), *Discursos sustentables*, Siglo XXI Editores, México.
- Margalef, Ramón (1980), *La biosfera. Entre la termodinámica y el juego*. Omega, Barcelona.
- Martínez-Alier, Joan (2003), “Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica”. *Economía Industrial*. N° 351/III: 15-26.
- Maturana, Humberto y Francisco Varela (1997), *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis, la organización de lo vivo*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile [1973].
- Meadows, Donella H. y otros (1972), *The Limits to Growth*, Universe Books, Nueva York.

- Miller, G. Tyler (2007), *Ciencia ambiental. Desarrollo sostenible. Un enfoque integral*. México: Thomson Learning.
- Planck, Max (1978), “Una autobiografía científica”. Autores varios, *Ensayos científicos*, Conacyt, México.
- Prigogine, Ilya, 1983, *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden?*, Tusquets Editores, Barcelona.
- Prigogine, Ilya e Isabelle Stengers (1985), *La nueva alianza*. Alianza Editorial, Madrid.
- Prigogine, Ilya, Peter M. Allen y Robert Herman (1977), “Long term trends and the evolution of complexity”. En: Laszlo, Ervin y Judah Bierman, editores, *Goals in a Global Community. Original Background Papers for “Goals of Mankind”. A Report to the Club of Rome*. Pergamon Press, Nueva York, 1-63. [Traducción al español en Tyrtania, 1999.]
- Santamarina Campos, Beatriz (2006), *Ecología y poder. El discurso medioambiental como mercancía*, Los Libreros de la Catarata, Madrid.
- Schrödinger, Erwin (1984), *¿Qué es la vida?* Tusquets, Barcelona.
- Slesser, Malcom (1978), *Energy in the economy*. MacMillan Press, Londres.
- Stephens, Christopher R. (2011), “Lo que no es la complejidad”. En Flores Valdés, Jorge y Gustavo Martínez Mekler, compiladores, *Encuentros con la complejidad*. Siglo XXI Editores, pp. 13-47.
- Toledo, Víctor M. y Benjamín Ortiz-Espejel (2014), *México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad. Una geopolítica que camina hacia las resistencias bioculturales*. Universidad Iberoamericana Puebla, Puebla.
- Tyrtania, Leonardo (1992), *Yagarivila. Un ensayo en ecología cultural*. UAM-I, México.
- (1999), *Termodinámica para la supervivencia de la sociedad. Antología de textos*. UAM-I, México.
- (2008), “La indeterminación entrópica. Notas sobre disipación de energía, evolución y complejidad”. *Desacatos. Revista de Antropología Social*. Núm. 28, septiembre-diciembre de 2008: 41-68.



- Varela, Roberto (2005), *Cultura y poder. Una visión antropológica para el análisis de la cultura política*. Anthropos /UAM, Barcelona.
- Wionczek, Miguel S., Gerard Foley y Ariane van Buren (coord.) (1983), *La energía en la transición del sector agrícola de subsistencia*. El Colegio de México, México.
- Wagensberg, Jorge (2002), *Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta? y otros quinientos pensamientos sobre la incertidumbre*. Tusquets Editores, Barcelona.

## Glosario de conceptos básicos

**complejidad.** Distancia del *equilibrio* termodinámico. Por oposición al sistema simple, uno complejo se sitúa en distintos *niveles* de integración, tiene distintas historias y necesita varios modelos de explicación.

**energía.** Denominador común de todo lo que sucede. Medida cuantitativa de trabajo. Variable independiente que define el estatus termodinámico de un sistema, esto es, su grado de complejidad: el sistema más complejo es más activo.

**entropía.** Energía no disponible. La energía no se destruye, pero su potencial se disipa: para reponerlo el sistema tiene que gastar cada vez más energía.

**equilibrio.** Cero producción de entropía. Estado en que ya no pasa nada, absolutamente nada.

**evolución.** Proceso de expansión /contracción energética. Conducción de flujos energéticos hacia el sumidero cósmico mediante la variación /selección de formas energéticas que origina cambios cualitativos. La aparición de la novedad está en la interconexión y la combinación entre los procesos físicos, químicos, bióticos, económicos y sociales (Georgescu-Roegen, 1971). La única “ley” evolutiva claramente formulada es el principio de entropía.

**modelo.** El *criptograma* de sí mismo que todo sistema guarda en cuanto dispositivo o forma energética especializada en el manejo de la información.

**niveles.** Reducción mental de los procesos de expansión energética (Adams, [1975] 1983: 302).

**sistema.** Flujo energético informado: una fluctuación estabilizada mediante mecanismos de realimentación informática.

**sustentabilidad.** Producción de alimentos a una tasa mínima de disipación con maximización en el uso de flujos energéticos ecosistémicos. Resultado local y temporal de coevolución de sistemas reproductivos interactuantes bajo la regulación de los imperativos del sistema social humano. Su viabilidad y duración depende de la capacidad de transferencia al medio de las pérdidas que ocasiona todo proceso de transformación y de su conexión en red con otros sistemas productivos.

**termodinámica.** Fundamento lógico de cómo funciona nuestro mundo. La termodinámica clásica estudia transferencias del calor con el *modelo* de sistema aislado. *La termodinámica de procesos irreversibles* de Prigogine estudia la dinámica de flujos de energía-materiales-e-información en sistemas abiertos / cerrados.