



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISION DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGIA**

Ecología y sociedad: flujos energéticos y estructuras de regulación

Leonardo Tyrtania Geidt

Tesis de Maestría en Ciencias Antropológicas

Director: Dr. Richard N. Adams

Asesor: Dr. Roberto Varela

Asesor: Dr. Jesús Álvarez

Ecología y sociedad
Flujos energéticos y estructuras de regulación

Leonardo Tyrtania

Iztapalapa, D.F.

Septiembre de 1996

INDICE

1	CONCEPTOS TEÓRICOS	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Entropía e información	17
1.3	El principio de Lotka	23
1.4	Estado estable y expansión	27
1.5	El modelo regulador/flujo	33
1.6	Información y cultura	36
2	RECAPITULACIÓN E HIPÓTESIS DE TRABAJO	47
3	BIBLIOGRAFIA	51

1 CONCEPTOS TEORICOS

El objetivo del presente trabajo es fundamentar teóricamente el diseño de un modelo para el análisis de las relaciones entre el flujo energético social y el flujo energético ecológico. El diseño se atiene a la termodinámica de procesos irreversibles, al principio de Lotka y al concepto de sistema disipativo. En cuanto a la dinámica de ambos sistemas -el social y el ecológico-, se la describirá en términos de relación regulador/flujo (*trigger/flow*, Adams 1988). El modelo se aplicará al estudio de un agroecosistema regional, el del Rincón en la Sierra de Juárez, Oaxaca.

1.1 Planteamiento del problema

*¿Qué favor
le debo al sol
por haberme calentado?*

(*"La vida inútil de Pito Pérez"*)

La energía es el denominador común de todas las interacciones en el mundo macrofísico y si se admite que la sociedad humana no es tan *sui generis* como para excluirla de este mundo, entonces las leyes de la termodinámica también cuentan para ella. ¿Acaso es posible concebir actividad alguna que no suponga el gasto de energía? Sin embargo, los principios de la termodinámica -aparentemente tan sencillos- representan un gran desafío para la comprensión de la evolución social.

Dos ideas contradictorias se plasmaron durante la misma época y en relación con un mismo paradigma, el de la evolución. A principios del siglo pasado Nicolás Carnot observando máquinas formuló la segunda ley, la cual especifica la evolución de un sistema aislado hacia el equilibrio termodinámico. A su vez, Charles Darwin

observando organismos formuló el principio de la evolución biológica como acumulación de variaciones adaptativas útiles, lo cual lleva al incremento de la complejidad. ¿Quién de los dos descubrió las leyes de la evolución? ¿La evolución tiende realmente hacia la complejidad o hacia el equilibrio termodinámico? Planteado así, el problema no está resuelto: "todavía no tenemos un nexo de unión entre la aparición de las formas naturales organizadas, por una parte, y la tendencia hacia la desorganización, por otra" (Prigogine y Stengers 1983:142).

En relación con este dilema se pueden adoptar varias posturas. Hay quienes creen que la vida y el conocimiento tienen el poder de contradecir las leyes de la naturaleza, como si hubiera un demonio de Maxwell detrás de estos procesos, o una *vis vitalis* supranatural. Desde esta posición no hay mucho que investigar.

Por otra parte, está disponible la interpretación estadística de los fenómenos, la que sugirió Boltzman: nada es imposible, tan sólo poco probable. La vida y las demás formas de orden que observamos en el universo se deben a accidentes desconectados y cada ciencia se encarga de los suyos. El problema con esto es que el azar como explicación repugna a la mente humana. Dios no juega a los dados, según Einstein.

Ahora bien, pueden adoptarse posiciones intermedias, tales como la siguiente. La vida obedece leyes físicas, pero muchas de

estas leyes son todavía desconocidas (Shrödinger 1984). Los sistemas complejos forman unas "islas de orden" (Boulding 1968), que si bien no contradicen ninguna de las leyes físicas, tampoco se explican plenamente por las mismas. Así, el mundo es visto como

(...) una colección de sistemas complejos, con distintos grados de estabilidad; cada uno de estos sistemas, entre los que se encuentra el hombre, sólo puede perdurar como una llama en interacción continua con los sistemas adyacentes (Passmore 1978:208).

La «resistencia» de los sistemas vivos contra las limitaciones que imponen las leyes de la termodinámica tiene algún significado especial, pero todavía no se sabe a ciencia cierta en qué consiste.

Una doctrina elemental que comparten los investigadores de esta problemática es *la teoría general de sistemas*. Más que teoría es un conjunto de ideas de sentido común, que podrían resumirse de la siguiente manera. Por medio de procesos autocatalíticos la materia-energía-información se organiza "en paquetes", sistemas o totalidades emergentes. Ya se trate de moléculas o galaxias, de células o poblaciones, de individuos o sociedades, todos estos fenómenos pueden ser abordados mediante la dicotomía sistema/entorno. Los sistemas se dividen entre aislados y abiertos; los que interesan son los abiertos. Cualquier ensamble de sucesos y objetos, siempre y cuando tenga relaciones de intercambio de energía y materia con su entorno, es autocorrectivo. En unidades evolutivas complejas hay una jerarquía de mecanismos homeostáticos, cuyo objetivo es mantener la habilidad misma de homeostasis tan

constante como sea posible, aún cuando esto signifique alterar las demás partes del sistema (Bateson 1991).

Desde la perspectiva sistémica, la evolución de la sociedad guarda una "relación sinóptica" (Margalef 1980) con la evolución de la materia, la vida y la inteligencia, en el sentido de que comparte los mismos principios formales, aunque proceda con materiales distintos. Los sistemas se autoorganizan a partir de sus propios elementos y mantienen su estructura gracias a la disipación de la energía, con lo cual obedecen las reglas del juego termodinámico.¹ Para seguir jugando los sistemas recurren a un ardid: transfieren tanta entropía cuanta pueden al entorno.

El análisis sistémico se da también en términos de la dicotomía *estructura/flujo*, la cual parece un reflejo de la "incertidumbre" que aparece en el nivel microscópico, y según la cual no se puede saber si la energía viene en paquetes o en ondas. Es más fácil definir la energía por el fluir de sus formas que por su esencia, si es que la tiene. Tenemos la energía electromagnética, nuclear, gravitacional, mecánica, química, nutricional y un largo etcétera que incluye todas las combinaciones de luz y fuerza, mas el calor. El calor destaca entre las demás formas, porque en toda transformación posible hay una forma de calor que ya no se

¹Garret Hardin resume las reglas de la siguiente manera: "No podemos ganar, estamos seguros de perder, no podemos salirnos del juego" (citado en Lovelock 1983:147). Dadas estas condiciones lo único que se puede hacer es seguir jugando.

puede recuperar por ningún medio, humano o inhumano. A eso se refiere la "ley de la entropía" o la segunda ley de la termodinámica.

Para la teoría de sistemas la termodinámica no es una ciencia más, sino un marco de referencia general. La termodinámica suele entenderse como un capítulo de la física, pero sus principios van más allá. A la termodinámica se le debe reconocer su "naturaleza única" (Georgescu-Roegen 1981) y considerarla como "la madre de todas las ciencias", según Dyson (1975). La termodinámica se ubica en un nivel jerárquico superior en relación con las ciencias porque "centraliza" la información en generalizaciones poderosas. Como si se tratara de una concentración de nutrientes en una cadena trófica, observa Blackburn (1973), lo general hace presa de lo particular.

La energía fluye de manera espontánea "hacia abajo". El universo se expande, la energía se disipa y de ninguna manera puede invertirse la "flecha del tiempo" de Eddington.² Tal es el punto de partida que habría que aceptar antes de internarse en este "laberinto de ideas" (Adams 1975:123) que es la termodinámica.

²Merece una especial atención el hecho de que la termodinámica de procesos irreversibles sea compatible con la teoría cosmogónica del universo en expansión (Layrer 1975, Frantschi 1982, Brooks y Wiley 1988). Hay también autores que van más lejos y adoptan actitudes místicas al reflexionar sobre la entropía como descriptor del universo. Véase, por ejemplo, Capra 1992 [1982].

Una vez adentro, es fácil percatarse de que la formulación de la segunda ley no da cuenta de los efectos "positivos" (acumulativos) de los flujos energéticos ordenados. Tal vez, porque algunos de estos efectos son de naturaleza no cuantificable, cuando tienen que ver con la organización o, tal vez, porque los hombres les asignamos algún sentido meta-físico. La segunda ley está formulada de tal manera que sólo permite medir entropía (energía no recuperable) en el caso de sistemas aislados. No hay una "segunda ley de la organización", como dice John Farmer (Brockman 1996:345). Otro estudioso del caos, John Barrow, propone que la segunda ley sea considerada como una *condición inicial específica*, "para no crear la ilusión de una ley de la naturaleza que produce desorden" (Barrow 1994:51).³ Porque obviamente hay algo más: en las regiones turbulentas, alejadas del equilibrio, en el "límite del juego termodinámico", como dice Margalef, el orden surge de manera espontánea. Tal vez no en todos los lugares ni todo el tiempo, pero surge como algo natural.

³Los físicos están divididos en éste punto. La mayoría considera a la segunda ley como "un reflejo de la improbabilidad de ciertos tipos de condiciones iniciales", pero hay también quienes ven en ella algo "mucho más fundamental" que una ley de naturaleza, y entre ellos están Prigogine y sus seguidores (Barrow 1994:177). En el primer caso, la entropía es (o no) propiedad del modelo siendo "una medida objetiva de aquello que hemos elegido ignorar" (François Leyvraz). En el segundo caso, la entropía es una propiedad ontológica del universo, mejor dicho, del modelo en el nivel epistemológico y eso no es ciencia (no es un modelo contrastable).

El primer antropólogo que se propuso revisar los conceptos de la "ciencia de la cultura" a la luz de estas ideas fue Leslie White:

(...) en un minúsculo sector del cosmos, a saber, en los sistemas materiales vivientes, el sentido del proceso cósmico parece invertido: la organización de la materia y la concentración de la energía se hacen cada vez más elevadas. La vida es un proceso de construcción y estructuración. La evolución biológica es sencillamente una expresión del proceso termodinámico que corre en sentido opuesto a aquel especificado por la segunda ley para el cosmos como un todo (1964:340).

La reflexión de White plantea el problema conocido como el "dilema de Spencer" o la mencionada "paradoja Carnot-Darwin": si todos los intercambios energéticos son entrópicos, entonces ¿cómo es posible que la evolución sea un proceso de acumulación? Si la disipación es la ley, entonces ¿cómo es posible que los sistemas puedan perpetuarse? Si predomina la confusión, entonces ¿de dónde surge tanto orden? White parecía creer que la biosfera es una excepción en el mundo físico, aún cuando fuera parte del mismo.

La posición que predomina en las ciencias sociales es la de restarle importancia al asunto. Autores de gran estatura teórica, como Lévi-Strauss, Bateson y Balandier, claramente reconocieron la importancia del componente energético en la evolución, pero nunca emprendieron ningún análisis en esta dirección. ¿Por qué? Tal vez por creer que la termodinámica se refiere a los aspectos obvios y triviales de su objeto de estudio.⁴ ¿No pasa lo mismo con las demás

⁴Bateson, Lévi-Strauss, Balandier, are all more or less structuralist, and structure -of course- is relational and has no substance; that is, structure has no energy. So the problem is not that they do not admit that energy is there, it is just that for them, it is totally unimportant. If one were to ask them about

leyes de la física? La gravitación, por ejemplo, es sin duda una ley universal, pero ¿qué importancia tiene esto para el análisis de los fenómenos sociales? No se puede extraer nada interesante de la mecánica celestial para los sistemas terrestres.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la física clásica ya hace tiempo que dejó de ser el logro paradigmático de la ciencia, de modo que el ejemplo ya no sirve. Se han hecho progresos y, entre otras cosas, surgió la *termodinámica de procesos irreversibles* (Prigogine, Allen y Herman 1977). Investigadores de diferentes disciplinas (Georgescu-Roegen en economía, Margalef en ecología, Adams en antropología, Brooks y Wiley en biología, Kapra en filosofía, Lovelock en ciencias de la atmósfera, por mencionar algunos) se propusieron el objetivo de compaginar los discursos de sus respectivas ciencias con los principios de la termodinámica. Como resultado está emergiendo la *teoría de autoorganización*. El mundo, el planeta, la vida, la inteligencia, la sociedad y la cultura, son manifestaciones de una tendencia natural del universo a organizarse a sí mismo en sistemas interdependientes. Tal vez sea temprano para hablar de una teoría bien acabada, porque se trata de llenar una laguna teórica muy profunda, pero ésta es la laguna -por decirlo así- en la que estoy pescando.

energy, they would probably say "Oh! of course; but everyone knows that it is banal and boring" (dr. Richard N. Adams, comunicación personal).

En el campo de la física y química fueron Prigogine y su equipo -la Escuela de Bruselas- quienes se impusieron la tarea de reconciliar los aspectos contradictorios de los conceptos de entropía y evolución, expresados en la paradoja Carnot/Darwin. El "nexo de unión" es la *teoría sistemas disipativos* elaborada a partir de la termodinámica de procesos irreversibles. La teoría asume que no hay diferentes leyes para diferentes tipos de evolución; lo que cambia es la "situación termodinámica" o el "régimen" de los sistemas, el cual puede ser básicamente de dos tipos: el cercano y el lejano al equilibrio (Glansdorff y Prigogine 1971:288). En situaciones cercanas al equilibrio termodinámico ocurre el desgaste y la destrucción de estructuras. El resultado final es el estado de producción cero de entropía. En cambio, en situaciones alejadas del equilibrio, esto es, en el otro régimen termodinámico, se observa el surgimiento de sistemas que no pierden *la memoria* de su organización. Estos sistemas evolucionan hacia estados estables obedeciendo las mismas leyes de la termodinámica que los sistemas aislados. La diferencia es que los estados de un sistema abierto están influidos fuertemente por su historia, de modo que los sucesos de muy poca importancia pueden decidir el futuro abriendo el camino para procesos estocásticos. Es una teoría que no ofrece consuelo a quien busca modelos deterministas, con capacidad de predicción.

Antes de proseguir, debo disipar un par de problemas que surgen inevitablemente cuando se aborda el tema de energía y

sociedad: el reduccionismo y la naturaleza de la explicación. En ciencias sociales hay una fuerte oposición al reduccionismo y al préstamo de conceptos de otras ciencias. En el campo del evolucionismo se han cometido grandes errores (como, por ejemplo, el de "darwinismo social"), de modo que ahora todo el mundo está en guardia. La convicción generalizada es que la evolución social es diferente de la evolución biológica, física o química. Cualquier intento de "biologizar a la sociología y sociologizar a la biología", como la propuesta de Wilson (1980), es recibido con mucha desconfianza. Un ejemplo de esto es la crítica que se hace al enfoque energético desde cierta perspectiva radical, según la cual las ciencias sociales deben formular sus propias leyes para no justificar los intereses creados como algo "natural":

Estos planteamientos resultan inapropiados o al menos incompletos [...]. El principio [de flujo de energía] ha sido aplicado al campo de la antropología como un intento de explicar el paso de las "sociedades primitivas" y de las sociedades agrícolas a la sociedad industrializada, como procesos entrópicos, implicando la necesidad de un consumo creciente de energía para mantener la cohesión social dentro de las formas más complejas de poder. De esta forma, la explotación creciente de la energía de la fuerza de trabajo y el desarrollo tecnológico caracterizado por su tendencia exponencial hacia el consumo de recursos naturales y hacia la destrucción de los ecosistemas, aparece como efecto de la ley de la entropía y ésta como una ley sociológica universal, encubriendo el efecto de las tendencias hacia la maximización de la tasa de ganancias del capital, fundado en la estructura de un modo de producción que nada tiene de natural o de universal (Leff 1981:64).

Si se identifica lo "natural" con lo universal e inevitable, entonces no hay nada natural en el mundo después de los primeros momentos de su existencia, de los cuales no sabe gran cosa. Invocar una ley natural como explicación es, efectivamente, "inapropiado" y constituye un argumento más que "incompleto". Si alguien tratase de explicar la formación del sistema solar

basándose en las leyes naturales únicamente, no se le podría siquiera etiquetar de "reduccionista", se diría que su intento es un despropósito. En una explicación completa en la física -si tal cosa fuera posible- intervendrían no sólo las leyes de la naturaleza, sino también las condiciones iniciales, las fuerzas naturales, las constantes de la naturaleza, las simetrías rotas, los principios organizadores, los sesgos de la selección y las categorías del pensamiento (Barrow 1994:14), en pocas palabras, tendríamos una "teoría del todo". Aún asumiendo que se conocen bien los primeros principios no hay posibilidad alguna de deducir de ellos los procesos concretos, porque para esto se necesita una gran cantidad de información «adicional», que es la que se obtiene por medio de mediciones y la que permite la revalidación del modelo, en su caso.

¿En qué consiste, entonces, una explicación? La explicación se da cuando los datos empíricos coinciden satisfactoriamente con un modelo previamente elaborado. Hay tantos tipos de modelos cognitivos o "mapas del mundo" cuantas permite la "vasta ecología de la mente" (Bateson 1991). Entre ellos están los modelos científicos y éstos deben obedecer reglas muy estrictas. De acuerdo con Adams (1982, 1988) en ciencias naturales la coincidencia entre un modelo y la realidad empírica es básicamente de dos tipos: la de las causas próximas y la de los patrones evolutivos. El primer modelo se basa en causalidad lineal (determinística) y el segundo se enfoca hacia las así denominadas "causas finales" (causalidad circular). Esta distinción es clave para entender la *energética* de

Adams (1982). El modelo está formulado en términos de explicación selectiva, aunque no desdeña la búsqueda de causas próximas, cuando hay capacidad metodológica para hacerlo.

A mi entender, también a los procesos cognitivos pueden aplicarse las reglas del juego formuladas en las leyes de la termodinámica. Todo flujo energético transporta información, pero nunca es posible recuperar toda la información que acompaña a las transformaciones energéticas. La memoria, que postula Prigogine para el sistema disipativo, codifica la experiencia del pasado como una especie de "estructura eficaz", no como un reflejo fiel de la realidad. Una re-construcción de los sucesos del pasado basada en causas próximas es posible, pero no del todo. El insumo energético que se necesitaría para una explicación total y completa sería descomunal, infinito. Sería fabuloso conocer todas las causas del mundo, pero para obtener esta información tendrían que erogarse costos energéticos igualmente fabulosos. La segunda ley no lo prohíbe en términos absolutos, tan sólo en términos del tiempo y presupuesto, literalmente. El aumento del orden sólo es posible local y temporalmente, eso también se refiere al conocimiento.

La capacidad de predicción de los modelos determinísticos se debe a la simplificación en los parámetros. Conforme aumenta la complejidad del modelo, más tiempo dura el ajuste del mismo a la realidad y menos manejable se vuelve como modelo. En pocas palabras, a más precisión, más ignorancia. Los modelos determinis-

tas pueden ignorar la entropía y la irreversibilidad, pero estos modelos tendrán utilidad sólo para abordar los fenómenos relativamente estables (como el sistema solar). Los sistemas complejos no lineales tienen que simplificarse de otra manera. En estos casos sólo podemos contar con explicaciones basadas en pautas generales, en el "patrón que conecta" de Bateson (1990), en la *explicación selectiva*, en términos de Adams (1982). La ciencia privilegia la información basada en causas próximas. La dificultad consiste en que los procesos que involucran sistemas adaptativos complejos pocas veces permiten una explicación en términos de causas próximas. De ahí la necesidad de construir modelos complejos no lineales, como el de las estructuras disipativas.

En su análisis de los procesos sociales "en clave energética" Adams construye un marco de referencia que nada tiene que ver con el apretado resumen monocausal citado arriba. Adams parte del presupuesto de que la sociedad humana puede analizarse en términos de flujo energético, empleando modelos construidos con el rigor de una ciencia natural.⁵ El argumento central de la *energética* de Adams no es que la sociedad consume energía, como si fuera una especie de maquinaria que quema el combustible. La sociedad es un ensamble de formas energéticas, humanas y no humanas, y como tal evoluciona a través de procesos energéticos. Lo que Margalef

⁵En su reseña de teorías energéticas de la sociedad Machlis (1979) divide estas teorías entre metafóricas, literales y mixtas. No es un esquema muy afortunado, porque de hecho no hay enfoque científico que pueda prescindir de metáforas.

conceptualiza como "relaciones sinópticas", en la terminología de Adams es la "extensión estructural" de un mismo proceso de evolución.⁶ Ahora bien, el control de los procesos energéticos (e informáticos) por medios humanos representa un verdadero problema en cuanto obedece no sólo a las leyes de energía, sino también las reglas de estructuración mental (Adams 1975:127). La investigación de los procesos sociales tiene su propio grado de dificultad. La intención explícita del autor es la de *extender* los conceptos (y el rigor) de las ciencias naturales a una nueva serie de hechos, en este caso, los sociales. La dificultad que encuentra el enfoque es la siguiente. Aún cuando hay bases energéticas y -como propone Wilson- bases genéticas para explicar la conducta social, los procesos informáticos sociales implican elementos de naturaleza simbólica o "mentalística". En la práctica no se puede eliminar del todo el residuo de un dualismo aparente, que proviene de la incapacidad metodológica de las ciencias sociales de tratar los fenómenos mentales como procesos energéticos. Voy a retomar estas ideas con más detalle en los siguientes párrafos, lo que quiero dejar claro hasta aquí es que gracias a estas nuevas herramientas teóricas, tales como la termodinámica de procesos irreversibles, la teoría de la autoorganización y la energética de Adams, el concepto de *evolución* regresa "al lugar central que le corresponde en nuestra ciencia" (Palerm, citado en Glantz 1987:9).

⁶[El argumento] no consiste en que haya paralelos entre lo genético y lo sociocultural, sino en que esto último es una expansión y extensión estructural de lo primero, y que los paralelos se mantienen sólo en la medida en que continúen operando de una manera selectivamente satisfactoria. Por ello, las diferencias entre los dos niveles son obviamente tan importantes como los paralelos aparentes (Adams 1987:674).

La evolución social, pues, es diferente de las demás, pero no tanto. Incluso las diferencias mismas se aprecian mejor cuando las contrastamos con el modelo estándar. La evolución social es más lamarckiana que darwiniana, sus cambios se dan a una tasa mucho más alta que la de la genética, permite la actuación de fuerzas tales como la cooperación y el altruismo, depende de fuentes energéticas diversas y no parece conducir hacia ningún estado estable conocido hasta ahora. De modo que la evolución social es algo especial, pero a la hora de construir sus "unidades operantes" o sus "vehículos de supervivencia" tiene que atenerse a las mismas leyes de la termodinámica que intervienen en todos los demás procesos energéticos. De otro modo ¿qué leyes nuevas debe descubrir la ciencia social y por qué debe ignorar las leyes naturales ya conocidas?

La evolución se manifiesta a través de los procesos de autoorganización que se dan en distintos niveles de complejidad (físico, biológico y social). El problema consiste, entonces, en fundamentarla en los principios comunes, sin perder de vista la particularidad de cada nivel. Spencer y los evolucionistas del siglo pasado no pudieron conectar su teoría sociológica con los primeros principios, porque la misma termodinámica estaba en pañales. De todos modos, para convencerse de que las leyes de la termodinámica, o el principio de Lotka, ayudan a entender procesos sociales se necesita ya estar convencido de que estas áreas del conocimiento han avanzado lo suficiente como para ser soporte de esta especie de *sciencia nuova*, que es la teoría de sistemas

disipativos. Muchos investigadores trabajan en esto (véase una lista en Brockman 1995), convencidos de que ya están dadas las condiciones para que surja una teoría unificadora de la evolución como proceso energético/entrópico.

Para teminar este apartado diré que mi objetivo es elaborar un modelo para el estudio de los *sistemas complejos adaptativos* con métodos y materiales que proporciona la antropología. En la bibliografía interdisciplinaria sobre el tema hay consenso de que tales sistemas existen. Lo que no existe todavía es una teoría de cómo funcionan. Son sistemas que se autoorganizan y evolucionan como flujos de materia, energía e información. El principal problema teórico consiste en conjuntar su base material con su base lógica y mi creencia personal es que la antropología tiene algo que contribuir en la tarea.

1.2 Entropía e información

Evolution is integration of matter and concomitant dissipation of motion (Spencer 1862).

¿Nada más? ¿Qué es, entonces, lo que evoluciona? Lorenz decía que el conocimiento, que "la vida es conocimiento". La entropía sería, en este contexto, el "precio" que hay que pagar por la información acumulada.

La entropía es una propiedad de cierto modelo del mundo, en el cual se la asocia con la estructura macrofísica de la materia, junto con la extensión y la masa. La ley de la entropía agrega el tiempo como una dimensión más. Para medir la entropía hay que tener un algoritmo del orden. El algoritmo es una secuencia de pasos para solucionar un problema. Boltzmann dió con uno, que funciona en el caso de poblaciones de partículas. El formalismo matemático propio de las ciencias duras da la impresión de que sólo en casos en que puede efectuarse la definición matemática y la subsiguiente medición es posible el conocimiento. ¿Será cierto? Al parecer, en el caso de sistemas abiertos,⁷ que son los que interesan en ciencias sociales, el problema de entropía tan sólo se presta a desarrollos puramente verbales. El concepto de energía/entropía se

⁷Hay *sistemas aislados*, que no intercambian nada con el entorno, *sistemas cerrados*, que intercambian energía (como la biosfera) y *sistemas abiertos* que intercambian materia y energía. En el caso de sistemas aislados el equilibrio es el estado que atrae al sistema; en el caso de sistemas alejados del equilibrio, el equivalente es el estado estable.

convierte así en una especie de piedra filosofal de la teoría, que al parecer sólo es accesible a través de un manejo analógico. Es posible definir matemáticamente conceptos tales como orden, información, redundancia, ruido, azar, entropía y hasta caos. Pero en el caso de medir estas magnitudes en sistemas abiertos no lineales, no se llega a nada seguro. La naturaleza misma de la información no está del todo clara, y en especial, el problema de la relación entre entropía e información es muy intrigante.

Claude Shannon publicó en 1948 una fórmula de medir el número de mensajes por canal independientemente de las propiedades del código y del medio de transmisión. La fórmula mide la "entropía de la información", y tiene la misma forma que la propuesta por Boltzmann. Desde entonces sigue una discusión sobre qué significa esto.⁸ ¿Significa que la información se puede definir como una especie de "entropía negativa"? Así lo entendió Brillouin (1962) y a partir de esta idea se establecieron intentos de medir la *neguentropía* de sistemas abiertos (véase un resumen de esto en Bailey 1990:71-84).

Efectivamente, los teóricos de la comunicación definen la información no por oposición a la materia, sino por oposición a la entropía, entendida esta última como medida de desorden. De igual modo que la entropía, la información es un aspecto del aconteci-

⁸Shannon publicó en 1956 un artículo titulado "*The bandwagon*", en el que afirma que se ha exagerado el significado de la fórmula de la entropía de la información, "atribuyéndole una importancia mayor que la de sus alcances reales" (Georgescu-Roegen 1981).

miento energético; es un atributo de materia y energía en estados alejados del equilibrio termodinámico. La información que circula entre las partes de un sistema reduce el azar y el desorden; esto es, reduce la entropía (local y temporalmente).

Hablamos de información o de forma para referirnos a la manera como la energía y la materia se combinan y se extienden en el espacio. (...) La información es una propiedad de todo aquello que está formado por partes distintas (Margalef 1980:17,19).

Algunos autores insisten mucho en distinguir entre la información y la materia/energía como entre dos dominios diferentes e irreductibles, que deben discutirse por separado, cada uno en sus propios términos. La información no tiene masa ni carga ni longitud; se mide en bits, redundancia y fidelidad. En definitiva, la energía y la información no tienen descriptores comunes, como argumenta Williams (y con él estarían de acuerdo todos los estructuralistas):

El gen es un paquete de información, no un objeto. La secuencia de pares de bases en una molécula de ADN específica el gen. Pero la molécula de ADN es el medio, no el mensaje. Mantener esta distinción entre el medio y mensaje es absolutamente indispensable para pensar con claridad acerca de la evolución. El hecho de que hace quince años comenzara a usar un ordenador puede haber tenido algo que ver con mis ideas actuales. El proceso constante de transferencia de información de un medio físico a otro y su recuperación posterior en el medio original hace patente la separabilidad de información y materia. En biología, cuando se habla de genes, genotipos, acervos genéticos y cosas por el estilo, se está hablando de información, de pautas, no de una realidad física objetiva (Williams: "Un paquete de información", en Brockman 1996:39).

Sin embargo, es imposible concebir un mensaje sin su correspondiente soporte energético-material. Cuando hay transferencia de un medio a otro los mensajes sufren pérdidas acordes con la

segunda ley, según la fórmula de Shannon. El procesamiento de información por computadora no es ninguna excepción.

El flujo de información va espontáneamente de lo general a lo particular, del genotipo al fenotipo, tal como lo indica la flecha del tiempo. Para que una generalización surja de la experiencia emírica "se requiere una compensación del incremento de entropía, esto es, un flujo energético capacitador" (Blackburn 1973). Ya se trate de los costos de una investigación, de los un ensayo de prueba y error, o de los procesos de selección, en todos los casos se produce entropía. Para que el fenotipo "informe" al genotipo se requiere de un proceso de selección, que disipa mucha energía. Así mismo, el procesamiento de información por medios humanos no es gratuito. Es más, debido a sus imprecisos códigos simbólicos y rituales, todo indica que es uno de los procesos más costosos de entre los conocidos en la naturaleza.

Tratándose de intercambios de información, todo es cuestión de grado. Cuanto más pulcro es el impacto sobre el receptor, más clara es la información recibida. La información es siempre propiedad del receptor (Adams 1975). El sistema más simple, el que por principio cede más fácilmente la energía y la información, puede quedar subsumido, subordinado, asimilado, explotado, fagocitado, etcétera, y aquí cabe todo aquello que abarca la categoría de "coevolución". Así surgen los niveles tróficos, sistemas jerárquicos y la estabilidad estratificada. Las formas más complejas no desplazan a las

formas primitivas, sino que se sobreponen formando nuevos niveles de integración y nuevas formas energéticas. En estos procesos interviene un principio general de simbiosis que es conocido, según Margalef (1980), como *el principio de San Mateo*, en honor a un excobrador de impuestos quien lo formuló así: "Al que más tiene, más se le dará". ¿Se puede «invertir» el principio de San Mateo? Por supuesto que sí, implementando un flujo capacitador con este expreso propósito, tomando en cuenta el costo energético de la empresa.

Si bien la información no siempre se deja definir con precisión matemática, está claro que no se puede manejar este concepto como si estuviera inmune a las leyes de termodinámica. La fórmula de Prigogine distingue entre la entropía interna y la que el sistema produce en el medio. Gracias a esta distinción es posible concebir una disminución temporal y local de entropía al interior del sistema. Esto significa el aumento del orden. Pero otro asunto es la información debida a un aumento en la organización, cuando se combinan sistemas de diferente estatus entrópico en un nuevo arreglo. En este caso no aumenta el orden, pero sí la "organización funcional" (véase un comentario de esto en Adams 1988:72-75). A una conclusión parecida llegaron los ecólogos. Margalef (1980) retoma la fórmula de Brillouin basada en la teoría de comunicación de Shannon y crea un índice de diversidad. Pero pronto resultó claro que la diversidad no es lo mismo que la

complejidad y que para definir ésta última no sirven las "apresuradas analogías con la teoría de la información" (Deléage 1993:199).

En conclusión, para los procesos energéticos complejos el algoritmo disponible es el de Darwin. Es un modelo basado en la *explicación selectiva*, que puede resumirse como sigue. En los procesos de reproducción hay una fuente de variaciones, sobre las cuales actúan las distintas fuerzas de selección como un filtro. No puede pasar inadvertido que este proceso tiene algo de creativo y mucho de destructivo. El aumento de organización tiene su contrapartida en la disipación de la energía libre. En antropología debe tomarse en serio la naturaleza entrópica de los procesos informáticos.

1.3 El principio de Lotka

En todo instante considerado, la selección natural va a operar de tal manera que se incremente la masa total del sistema orgánico, que se incremente la tasa de la circulación de la materia a través del sistema y que se incremente el flujo energético total a través del sistema, en tanto esté disponible un residuo no utilizado de materia y energía (Lotka 1925:35, traducción mía).

El *principio de Lotka* se refiere a la interacción entre formas energéticas, cuya consecuencia es una asimetría: la selección promueve al sistema que logra captar y transformar mayor cantidad de energía. El principio de Lotka es complementario de las leyes de la termodinámica y participa de su validez universal. Según Odum (1971) se trata ni más ni menos que de un *principio organizador* que rige la evolución de sistemas físicos, ecológicos y sociales.

Debe entenderse que el principio de Lotka está formulado como una ley natural y, dado su nivel de generalización, sólo puede evocarse a favor de una "explicación selectiva". De ninguna manera es causa próxima y esta es la dificultad que presenta el manejo de este principio por parte de Odum. De acuerdo con nuestro autor, se trata del principio "del máximo de potencia", según el cual los procesos energéticos elementales forman la trama de un sistema complejo, a través de la cual el mismo sistema busca un mejor aprovechamiento de la energía disponible. Los "procesos energéticos elementales" consisten en extracción, transporte, transformación, intercambio, mantenimiento, reciclaje y las demás actividades, en las que se incluyen las actividades económicas y sociales. La conclusión de Odum es que la civilización debería acogerse al

"principio organizador" de maximización por las buenas, porque es la única estrategia que permitirá la presencia de la sociedad humana en la biosfera a largo plazo: la naturaleza se domina obedeciéndola.

El libro *Environment, Power and Society* de Howard Odum es un programa de investigación que se propone "desarrollar bases teóricas de la ciencia de las intervenciones humanas en la naturaleza", como lo resume en una frase Taylor (1988:213). Las ideas de Odum influyeron en una gran cantidad de investigaciones y sus conceptos están presentes en las primeras páginas del manual de ecología de Eugene Odum (1971), el cual citan todos los autores que escriben sobre la antropología ecológica.

La teoría de los Odum identifica el valor con la energía útil y el poder social con la potencia (Martínez Alier 1993:38), aferrándose a una suerte de realismo ingenuo, el cual no es aceptable en ciencias sociales. La crítica puede resumirse de la siguiente manera. Los intentos de describir los sistemas sociales en un lenguaje de la física (o de la ecología o del que sea) no conducen automáticamente a una mejor comprensión de los problemas. Esto lo advirtió White (1987 [1954]) desde el principio. Una buena vacuna en contra del "reduccionismo energético" es la lectura de los trabajos de Georgescu-Roegen. El autor insiste en que los sistemas económicos son sistemas abiertos que siguen una dirección única, impredecible. Se puede decir que son sistemas abiertos

también en el sentido informático, que no cuentan con la instrucción completa para enfrentar todas las fluctuaciones del futuro. No se puede esperar que estudiando la estructura y el funcionamiento de los flujos energéticos y de sus soportes informáticos, tales como genes o ecosistemas, se obtenga la información necesaria para construir un modelo de comportamiento de la sociedad humana. Es conocido el argumento de Conrad Lorenz (1993) según el cual el hombre no está equipado genéticamente para solucionar el problema de la violencia intraespecífica. El argumento puede extenderse al consumo exosomático de energía en general: en esto las sociedades humanas no tienen precedente.

Tal parece que Odum desea establecer una regla de «ingeniería social», la cual obligaría a las sociedades a un nivel máximo de eficiencia energética bajo la amenaza de muerte. Los controles fisicoquímicos, biológicos y conductuales -efectivamente- trabajan para incorporar la máxima cantidad de materia y energía al sistema, pero la eficiencia en el uso de estos flujos no siempre representa ventaja. A *grosso modo* suelen distinguirse dos etapas de sucesión: la colonización y la fase culminante. Se dice que el propio Lotka reconoció esta diferencia (véase Rifkin y Howard 1980:81). Incorporar más materia y energía es relativamente fácil en la primera fase, en la cual se administra la abundancia. Sólo en la segunda fase la regla es la maximización (hacer más con menos). Si bien estas fases representan algunos problemas comunes que tienen los sistemas complejos en su lucha contra la entropía, los sistemas

disipativos sociales muestran características emergentes de que se deben tomar en cuenta al aplicar la teoría.⁹ Estas características tienen que ver con la expansión de los sistemas disipativos sociales o, si se prefiere, con cierta capacidad de evasión del estado estable por parte de los mismos.

⁹Tal vez pueda definirse una fase más, la del *estado final* (Adams 1975:129, véase también el diagrama en la última página de *Energy and Structure*). De acuerdo con el principio de Lotka todo sistema disipativo tiene una fase final.

1.4 Estado estable y expansión

Far-from-equilibrium processes have made it possible to interrelate the notions of hierarchical structures, that is, apparently, replicated inclusive systems, to the dynamics of the second law of thermodynamics (Adams 1982:125).

Según Prigogine todo comienza con una fluctuación. La inestabilidad, la ruptura de simetría, la irreversibilidad -fenómenos azarosos y singulares que parecen ser incompatibles con el orden-, de hecho son sus generadores. Si la fluctuación sobrevive a un punto crítico, que se denomina el punto de bifurcación, tenemos un nuevo sistema disipativo.¹⁰ Las fluctuaciones en el nivel microfísico se "amplifican" y encuentran una solución en el nivel macrofísico. Así es como emerge el orden jerárquico en sus distintos niveles.

Los sistemas disipativos tienen las siguientes características: (1) dependen de insumo/producto, (2) muestran una relación tamaño/volumen y (3) se disipan ellas mismas cuando cesa el flujo. Si bien las características (1) y (3) se entienden, la característica (2) presenta ciertos problemas en relación con los sistemas disipativos sociales. En los sistemas físicos simples se puede determinar la relación tamaño/volumen debido a la limitación en el costo de transportación de masa: cuando el sistema incorpora toda

¹⁰The possibility of new types of organization of matter past an instability point under the influence of non-equilibrium conditions, occurs only when the system is sufficiently far from equilibrium. The study of such a new organization, the so-called *dissipative structure*, arising from the exchange of matter and energy with the outside world, appears as one of the most fascinating subjects of macroscopic physics (Glansdorff y Prigogine 1971:73).

la materia disponible a sus ciclos, entonces alcanza el estado estable. Esto está claro en el caso de un vórtice o una vela. La diferencia con los sistemas complejos adaptativos es que alcanzan el estado estable por etapas de *sucesión*, en las que una parte de materia-energía-información es desviada hacia el almacenamiento. Esta última característica, a su vez, permite la construcción de circuitos de retroalimentación muy intrincados, como los así denominados mecanismos de *homeostasis* o *autorregulación* y otros.

¿Es la homeostasis lo mismo que la adaptación? Indudablemente es una fase de los procesos adaptativos. En biología se distingue entre la adaptación interna y la externa. Cuando los controles biológicos se combinan con los conductuales, aparecen nuevas formas de procesamiento de información (de toma de decisiones). Esto es lo que permite a las sociedades humanas evadir ciertos controles ecológicos locales. Una prueba de esto es que en la actualidad es difícil encontrar una sociedad en estado estable que no sea una isla, en los libros de etnología. Volveré a esta idea más tarde, en el capítulo sobre el modelo de Rappaport.

Al estar sometidos a una dinámica de fluctuaciones mayores que sus mecanismos de homeostasis puedan soportar, los sistemas disipativos oscilan y eventualmente se colapsan. Pero también pueden reorganizarse en unidades mayores, buscando solucionar sus

problemas en un nivel superior.¹¹ La autoorganización de sistemas en unidades de supervivencia cada vez más complejas y mejor (in)formadas se da como respuesta al problema de la entropía.

Las redes de reacciones catalíticas en química serían el ejemplo más elaborado a partir de la teoría de sistemas disipativos de Prigogine. Pero sus trabajos arrojaron una nueva luz sobre la dinámica de los sistemas en general y su logro consiste en extender el método a un nuevo rango de problemas. Trintschner (1965) estudiando el balance energético de los embriones establece que la producción de entropía por unidad de masa y de tiempo se incrementa durante la primera fase de ontogénesis y pasa a estabilizarse durante la madurez. Este es un ejemplo que da Prigogine para argumentar que los sistemas vivos son un caso especial de sistemas disipativos (Prigogine y Glansdorff 1971:289).

En ecología los estudios energéticos comenzaron mucho antes de que se formulara la teoría de sistemas disipativos. Lotka (1925), Transeau (1926), Juday (1940), Lindeman (1942), Odum (1957) y Margalef (1968) son trabajos que marcan la pauta en cuanto a los estudios de balance energético de los sistemas vivos. Al tomar el flujo energético como el hilo conductor, introducen nociones de productividad, rendimiento y nivel trófico. El juicio sumario que

¹¹En química se habla de procesos autocatalíticos, Bateson lo concebía como *squismogénesis*, en el análisis sistémico se dice *retroalimentación positiva*, en biología se habla de *coevolución*, o también de *feedforward*; todo eso tiene que ver la "inversión" en la preparación del "ambiente benigno".

suele pronunciarse sobre estos estudios es de que "pagan el precio del energetismo reductor" (Deléage 1993:140). Los estudios energéticos en ecología toman la energía como la variable dependiente y describen los ciclos de energía como se describe los de carbono, de agua o de cualquier otro elemento nutritivo. Se usan modelos matemáticos, que para ser precisos y manejables, reducen las coordenadas a dos o tres variables. El modelo de sistemas disipativos no es un modelo de insumo-egreso como el de la caja negra, con entradas y salidas que se pueden estudiar independientemente de las *interacciones al interior del sistema*. El argumento de Prigogine es que las matemáticas no lineales permiten definir mejor las variables relevantes y evitar así la clasificación de sistemas con un criterio único, el de la producción de energía (Prigogine, Allen y Herman 1977:59).

Prigogine no tiene dudas de que la evolución social se puede describir en términos de la dinámica de sistemas disipativos, excepto algunos problemas de cuantificación, pero los ejemplos que propone son algo rudimentarios y se manejan como pruebas anecdóticas. El autor cita los estudios de las sociedades de insectos, en las que la comunicación se da con base en mensajeros químicos, lo cual permite aplicar las mismas fórmulas de matemáticas no lineales que en el caso de reacciones autocatalíticas. Los códigos de comunicación social, en cambio, se basan en manejo de símbolos y costumbres, lo cual es una característica típicamente humana. En cuanto a ciencias sociales, Prigogine toma un ejemplo de Carneiro

(1969, citado en Prigogine, Allen y Herman 1977) y propone su uso del concepto de "estabilidad" como equivalente o parecido a estado estable, tan importante para los sistemas disipativos. Cuando en sociología se habla de "estabilidad", "equilibrio" o del muy popular "equilibrio dinámico", se habla de muchas cosas. El hecho es que estos conceptos no tienen una definición más precisa que la que le dio Aristóteles a su "tendencia universal al equilibrio" como una verdad metafísica. El equilibrio local es un régimen perfectamente definido y, fuera del régimen de equilibrio termodinámico, el único del que la física tiene conocimiento.¹² En cuanto al "social-prigoginismo" (Martínez Alier 1993) es una doctrina que, según una objeción que formula Adams (1988), no toma en cuenta lo que las ciencias sociales ya han dicho y acumulado sobre su objeto de estudio.

En efecto, los sistemas sociales poseen ciertas particularidades que las diferencian de los sistemas disipativos en física, química y biología (aunque también es cierto que estas diferencias pueden entenderse mejor desde la perspectiva de un modelo general). Se ha dicho que la evolución sociocultural, si bien obedece a la letra las leyes de la termodinámica, parece estar violando constantemente su espíritu. Las sociedades van de un desequilibrio a otro sin que importe el estado estable y la eficiencia. Resulta

¹²La hipótesis de equilibrio local establece que en el caso de un fluido la entropía de un sistema alrededor de un punto en el espacio y a un tiempo dado, guarda la misma relación con otras variables locales, tales como la densidad de energía y de masa, que en el equilibrio termodinámico (García-Colín 1988).

que los sistemas sociales, ante la perspectiva de perpetuarse en el estado de virtud, muestran cierta facilidad de acoplarse con otros sistemas y aún a costa de perder su propia identidad estructural tratan de obtener el acceso a nuevas fuentes de energía.

Las sociedades difieren de otros tipos de estructuras disipativas en la realización del estado estable. Al definir estructuras disipativas en química y física Prigogine indicó que la presencia del estado estable es la característica que las identifica como tales. Sin embargo, las sociedades participan en la expansión-para-la-supervivencia, que es característica de la vida misma. La sociedad mantiene el estado estable solamente cuando existe alguna restricción del insumo, que inhibe continuar la expansión. Es verosímil que tales constricciones de insumo puedan atribuirse en última instancia a limitaciones ambientales. (...) Lo que tal vez es más importante subrayar en relación con este punto, es que no hay nada universalmente inherente en la organización social que conduzca al estado estable (Adams 1982:18, traducción mía).

Para los efectos del análisis, destaca la dificultad de trazar fronteras de sistemas que cuentan con partes desmontables o subsistemas, los cuales pueden pertenecer simultáneamente a diferentes estructuras. A diferencia de los ecosistemas naturales los sistemas sociales humanos dependen no sólo del metabolismo endosomático y -en última instancia- de la fotosíntesis, sino también de la energía humana organizada, de combustibles renovables y no renovables, de la energía nuclear, de las tecnologías alternativas, de la biotecnología y así sucesivamente. De modo que se trata de un nuevo nivel de integración, el de sistemas que diversifican sus fuentes de materia, energía e información. Los sistemas sociales son estructuras que pueden reorganizarse con cierta facilidad y no tienen ningún interés -por así decirlo- en cultivar las virtudes del equilibrio *mientras las circunstancias no las obligan a ello.*

1.5 El modelo regulador/flujo

Una pequeña chispa enciende el bosque inmenso, una sólo palabra mueve al mundo a la guerra, un pequeño escrúpulo hace de nosotros filósofos o idiotas (Maxwell, citado de memoria).

Comúnmente la energía se define como la capacidad de realizar trabajo, con lo cual se incurre en tautología (el trabajo no es más que un flujo de energía) para decir que es posible algún tipo de *retardo*. ¿A la capacidad de trabajo de quién se refiere? De un sistema o de una forma energética, que es un acoplamiento de flujos energéticos. Debe darse la coincidencia de varios retardos para que la energía no se disipe sin más (sin realizar ningún trabajo), como es capaz de hacerlo. El mecanismo básico de transferencia de energía de un sistema a otro -el retardo- se explica como la confluencia de fuerzas contradictorias.¹³ La velocidad máxima a la que puede viajar la energía es la de la luz, pero al interceptarla la biosfera se retrasa su disipación. La distinción entre flujo y estructura es la de dos fuerzas opuestas y asimétricas que se entrelazan. Una de ellas indica la dirección del flujo y otra es la que lo "retarda" u "ordena" (pone a trabajar). La distinción entre el flujo energético sustancial y el flujo regulador es fundamental para el concepto de estructura disipativa.

¹³Por ejemplo, la caída libre debida a la gravitación es contrarrestada por las fuerzas centrífugas del giro de las grandes masas, lo cual da lugar al surgimiento de estructuras ordenadas del macrocosmos (Dyson 1975:44-63).

La imagen mínima del acoplamiento de formas energéticas a través del cual se retiene una parte de la energía útil¹⁴ es la del mecanismo disparador (Adams 1975). La función básica de este dispositivo consiste en liberar/inhibir el flujo energético sustancial. Blackburn (1973) lo denomina "flujo capacitador". En los trabajos de Margalef (1968) dicho mecanismo recibe el nombre de "puertas energéticas", o de "órganos de la evolución". Así, la fotosíntesis -por ejemplo- degrada la energía de onda corta en energía de onda larga de "peor calidad", mas el calor, que es la energía irrecuperable o "el precio" que se paga por la conversión. Siempre cuando la energía se almacena en el siguiente peldaño de la cadena trófica aumenta la eficiencia de la conversión y la tendencia del conjunto hacia el equilibrio o clímax (estado estable) es una cuestión local y empírica (Margalef 1984).¹⁵

Las sociedades humanas indudablemente participan de los ciclos naturales de la biosfera, pero no como una especie de depredadores entre otras. Hablando en términos figurativos, los humanos encontraron nuevas "puertas energéticas", las que les permiten evadir algunos de los controles ecológicos locales.

¹⁴En física suele hablarse de *energía libre*, Odum (1972) la define como *energía neta*, Margalef (1984) maneja el concepto de *energía de alta calidad*.

¹⁵La demografía de los lince está controlada por la de las liebres y la base de toda la pirámide descansa sobre la fotosíntesis. En la medida en que se sube el peldaño de consumidores, la eficiencia de la transformación energética aumenta.

El modelo de "mecanismo de disparo" o, como también puede denominarse, de *dispositivo regulador*, permite concebir el acoplamiento de flujos energéticos que provienen de distintas fuentes, tienen distintos "tiempos de producción" de energía útil (Puntí 1988) y distintas reglas de eficiencia.

Las formas y los flujos energéticos que se combinan para formar estructuras disipativas resultan ser de una u otra manera autoreguladoras. Una manera de concebir esta capacidad de las estructuras disipativas es la de diferenciar ciertos flujos energéticos (generalmente los microflujos, pero no exclusivamente estos), que se encargan de tareas específicamente reguladoras. En la teoría de jerarquías (Pattee 1973) estos se llaman procesos *descriptivos*, como los que están involucrados en la operación del gen. Los genes transportan *planos* o *patrones* que dirigen el crecimiento y ciertas conductas, tales como las de *mecanismos reguladores*, que responden a las perturbaciones ambientales. Ahora bien, si una determinada estructura disipativa está en estado estable, ello depende de la acción de los mecanismos reguladores, los que a su vez pueden considerarse como estructuras disipativas (Adams 1982:19).

Bateson, desde que dio con la idea de "sistemas de causalidad circular" y de autorregulación, insistía en que "debemos reexaminar cuanto sabíamos" a la luz de estos conceptos (1990:302). Esto es lo que pretendo en el presente trabajo en relación con el tema.

1.6 Información y cultura

La pareja epistemológica materia/información parece reafirmar el clásico dilema naturaleza/cultura presente en casi todas las teorías antropológicas. ¿Puede definirse la cultura como un dispositivo que procesa la información? En el presente apartado me propongo revisar el enfoque de antropología ecológica de Rappaport (1968, 1975) a la luz del concepto de dispositivo regulador basado en una combinación de control y poder, para contestar (negativamente) la pregunta.

La teoría general de sistemas y con ella las ideas de la informática se implantaron en la antropología ecológica a partir de los trabajos de Odum, Steward, Geertz y Rappaport (para una genealogía del concepto véase Morán 1993:44-63). En especial *Piggs for the Ancestors*, publicado en 1968, sigue siendo un trabajo de referencia obligatoria en estudios de ecología humana. El argumento central consiste en concebir a la cultura como una fase, entre otras, del sistema de respuestas adaptativas, organizadas jerárquicamente en relación con determinados problemas ambientales (Harris 1982, Martínez 1978). La cultura es una "propiedad de la población ecológica" (Rappaport 1979:62). El objetivo del investigador es describir la arquitectura de una adaptación, codificada en términos culturales. Los nativos tienen su "modelo cognitivo" y el investigador debe describirlo junto con el que es el "modelo operativo", el científico. La clara distinción entre los dos

modelos es una ganancia y el autor no descalifica un modelo en función del otro.

La cultura, parafraseando la famosa definición de Tylor, sería un medio de transmisión de la información por vías no genéticas. La especificidad de la misma, constituida por "creencias, convencionalismos, conocimientos, técnicas y artefactos dependientes de la invención y uso de símbolos", radica en que "por medio de los símbolos su alcance [el de la cultura] se libera de lo inmediato y presente, ya que por medio de ellos puede acumularse y transmitirse una enorme cantidad de información" (Rappaport 1975:264).

El modelo cibernético de Rappaport trata de solucionar la siguiente dificultad: *cómo es posible manejar sistemas ecológicos de los que depende el hombre, cuando son de una complejidad y sutileza tales que rebasan la comprensión.* Las divergencias entre las imágenes culturales de la naturaleza y la organización real de la misma son notables. "Este es un problema crítico para la humanidad y uno de los problemas centrales de la antropología ecológica" (Rappaport 1975:246). De acuerdo.

La tesis central del enfoque sistémico de Rappaport puede resumirse así: los intercambios en el complejo ecológico-social son regulados por el ritual como si éste fuera un homeostato.

Toda la operación del ciclo es cibernética, en respuesta a las señales del ecosistema (...) se emprenden acciones rituales concernientes a lo sobrenatural, (...) pero estas acciones tienen efectos correctivos sobre el ecosistema (Rappaport 1975:286).

El cúmulo de funciones de este mecanismo es impresionante: ayuda a evitar la degradación del medio, ajusta la relación hombre-tierra, limita y regula las incursiones intergrupales, facilita el intercambio y nivela las diferencias que amenazan la estructura igualitaria del grupo. Ahora bien, estas funciones de regulación pueden atribuirse a la cultura en general, la cual, según una definición de Geertz, es

(...) una serie de mecanismos de control -planes, recetas, fórmulas, reglas, instrucciones (lo que los ingenieros en computación llaman "programas")- que gobiernan la conducta (1987:50).

La crítica más fuerte que se ha formulado al enfoque cibernético es de naturaleza epistemológica. La cultura, capacidad humana de codificar la experiencia, se concibe en este enfoque como una especie de *softwahre*. Sus bits informáticos son de dimensión cero. La cultura es como un programa que no se involucra en la ejecución, permaneciendo como una estructura atemporal. Como observa Ellen

(...) en su forma más extrema (...) la proposición de que la cultura es simplemente un mecanismo para procesar energía y materiales es manifiestamente ridícula (1982:117).

La forma extrema significa aquí precisamente esto: la concepción de la cultura como una especie de entidad ideal, ontológicamente diferente de los flujos de materia y energía a los que "gobierna".

Es la convicción de que las ideas mueven al mundo. Un colorario de esta certeza es que se puede obtener el conocimiento sobre los sucesos como un reflejo fiel de la realidad. La cultura sería en este caso como el demonio de Maxwell, el cual no necesita atenerse a las leyes de la natura, porque al procesar la información no usa energía. Finalmente, si la cultura es la que "gobierna" la conducta, entonces todo cambio es fundamentalmente un cambio cultural/mental. A esto se puede contestar que si la ciencia consiste en la formulación de proposiciones falsables, entonces la crítica de la omnipotencia del pensamiento es justa y no se necesitan más comentarios.

Un comentario aparte merece la crítica de que el modelo de Rappaport "reifica el concepto de ecosistema", atribuyéndole características que sólo tienen los organismos (véase Moran 1990). El problema con la capacidad homeostática de los sistemas disipativos tiene que ver con el tipo de sistema del que se está hablando. La crítica mencionada supone que el organismo contiene un dispositivo homeostático o un termóstato que es perfectamente identificable como mecanismo que regula la temperatura y "centraliza" las decisiones a partir de la información que recibe. Pero este no es el caso de los sistemas complejos, ya sean organismos, ecosistemas o sociedades. En estos casos hay una infinitud de mecanismos de regulación que se encargan de mantener el sistema funcionando dentro de ciertos parámetros. La homeostasis no es cuestión de un dispositivo, sino de una característica emergente, la cual es

propiedad de una red de interacciones entre distintos elementos del sistema. ¿Quién manda en la selva? ¿Quién regula la temperatura del organismo? ¿Quién manda en el cerebro? Francisco Varela define la autoorganización como "emergencia de propiedades «globales» a partir de interacciones locales" (Brockman 1996:198); es un proceso de causalidad circular retroactiva, del cual surge una coherencia que representa un nuevo nivel de integración. En palabras del mismo autor, "en un nuevo dominio surge la red o superficie de interacción a manera de un yo virtual; «virtual» porque deja de ser evidente cuando intentamos localizarlo". Los mecanismos que mantienen el estado estable son, entonces, ubicuos y múltiples.

El ritual *kaiko* aglutina, como un mapa del ambiente específico, muchas de las funciones regulatorias.¹⁶ Me parece que el mérito de Rappaport consiste en describir estas funciones en cuanto sus causas próximas. El autor los etiquetó como "cultura", diciendo que éste es el dispositivo que se encarga de procesar la información y gobernar los flujos energéticos. Si la cultura no es exactamente esto ¿entonces, qué es?

Según Adams los antropólogos se han "regodeado en el uso de este término ambiguo y poco promisorio" (1975:106). La cultura es

¹⁶Una de las autocríticas que se formula Rappaport (1979) es la de no atender suficientemente en su investigación a las necesidades de los individuos. Desde los tiempos de Darwin se sabe que en el nivel de los individuos suele manifestarse una buena parte de las presiones selectivas del medio. Las decisiones individuales indican en donde están los principales mecanismos de disparo en una sociedad (Adams 1982:124).

un patrón holístico y como una abstracción que es no puede convertirse en una herramienta analítica para explicarse a sí misma, ni puede afectar los sucesos de ninguna manera directa (Adams 1982:121).¹⁷ El mismo autor (1987) desarrolla la idea de que los procesos metabólicos que se sirvieron de ordenadores biológicos, tales como los genes, prepararon el escenario para la evolución de formas energéticas más complejas en el sentido de que integraron elementos físicos, seres vivos, la inteligencia humana y las instituciones sociales. Estas formas se diseñaron como "vehículos de supervivencia".

El nuevo escenario corresponde, en este caso, a un "ambiente benigno" para el ensamble de formas energéticas heterogéneas. Me parece importante resaltar la idea de la cultura como "ambiente benigno" (Adams 1988), ya que permite entender en qué consiste el aspecto creativo de la disipación de energía en el proceso de la evolución social. En ecología es bien conocido el hecho de que la vida invierte mucho trabajo en preparar y mantener su propio ambiente. Tal vez la hipótesis más deslumbrante en relación con esto es la "hipótesis Gaia" de James Lovelock (1992). Dicho autor desarrolla dos tipos de pruebas, la prueba termodinámica y la de las "causas próximas", a fin de demostrar que la vida ha moldeado las condiciones del planeta para ajustarlas a sus propias necesida-

¹⁷El *materialismo cultural* de Harris asigna a los factores culturales/mentales el peso de causa próxima (véase la discusión de esto en Adams 1981:603-624).

des y que sigue invirtiendo la energía disponible en mantenerse en las condiciones alejadas del equilibrio.

Esta es también la tesis central de *Paradoxical Harvest* de Adams (1982). El capitalismo industrial no se propaga como una fórmula de éxito descubierta de una vez por todas, sino se expande como resultado de la creación de un moderno sistema mundial. En él la Inglaterra victoriana invirtió tanto esfuerzo, que paradójicamente le costó el liderazgo. Una forma energética en expansión siempre topa con sus propios límites, que son los del estado estable. En el caso de sistemas sociales

(...) esto sucede cuando una estructura en expansión encuentra un nivel de operación en el que sus partes internas ya no pueden manejar la cantidad y el tipo de energía de la que dependen. Para continuar la expansión tienen que aparecer nuevos mecanismos, las partes tienen que reorganizarse de alguna manera; tiene que surgir una estructura nueva y, en este caso, más grande. Aunque el resultado es claramente la continuidad derivada de la estructura anterior, sin embargo, también hay una estructura nueva, distinta a la de su predecesora especialmente en cuanto al tamaño y a la regulación (Adams 1982:20, traducción mía).

La cultura es un nivel de integración de sistemas disipativos humanos y no humanos; un nivel en el que abundan los dispositivos reguladores que "flotan" libremente (*free floating trigger mechanisms*); en este nivel pueden coexistir descripciones realistas de la naturaleza con mundos imaginarios. Una idea o una palabra no pueden detener el flujo de un río. Pero esta misma palabra inserta en un sistema de mecanismos de regulación específicos, como -por ejemplo- una orden del ingeniero para cerrar las esclusas, puede causar efecto de detener el río, que nada tiene de mágico. Dicha

palabra o idea actúa no porque sea elemento clave de un ritual, que opera en el nivel mental/conductual y emic/etic, sino porque es parte de un mecanismo de disparo bien concreto e identificable.

La cultura (...) es un conjunto (...) complejo de mecanismos de regulación, de dispositivos que emergieron en el curso de la evolución y le dieron a la especie humana una ventaja particular y limitada sobre muchas otras especies rivales. El mecanismo básico de la cultura consiste en la asignación arbitraria de significados a las formas energéticas. Este proceso psicológico predominantemente humano es intrínsecamente expansivo, porque actúa a través de ensayo y error a fin de incrementar los flujos energéticos en el mundo. Como la vida misma, la cultura es un agente catalítico expansivo, una serie de dispositivos de regulación cuyo objetivo es la expansión de los flujos energéticos, a menos que expresamente se haya programado algo en el sentido contrario (Adams 1982:21, traducción mía).

Así como las formas energéticas que los sustentan, los códigos informáticos pueden asumir formas muy variadas, tales como las de los genes, las de las relaciones tróficas de un ecosistema, o las redes de las instituciones sociales. Estos patrones se producen por selección. El acoplamiento de "mecanismos que flotan libremente", o de los "procesos descriptivos", con los flujos energéticos sustanciales representa una fuente de variación. La selección viene a ser el filtro.

El problema de la divergencia entre el modelo cognitivo y la organización real del ecosistema, que plantea Rappaport, puede leerse desde la perspectiva de la teoría de sistemas disipativos. Se trata de un caso de la relación entre el flujo sustantivo y el flujo regulatorio. El modelo es parte de un regulador en el sentido en que dispone de información sobre el trabajo sustantivo de la estructura/flujo que regula, pero no es la suya una información completa. El modelo es una estimación de marcadores o índices, si

disponemos de una descripción matemática de la realidad. El modelo en términos generales, es un mapa, en el sentido de una (re)creación continua de la realidad. El acoplamiento de formas energéticas depende de este "ambiente benigno", que es la estructura envolvente de procesos descriptivos, en la que se comparten códigos y modelos; depende de esta "vasta ecología de la mente", que imaginaba Bateson (1991).

El ecosistema habría que definir como "un complejo que implica conjunciones particulares de lo energético y lo mentalístico" (Adams 1978:63). De acuerdo con esto, el ecosistema presenta las características de una estructura disipativa. Su dimensión última depende del volumen de energía que logra incorporar; tiene una trayectoria vital que, bajo condiciones más o menos constantes, llegará a manifestar un estado estable. Se constituye por una combinación de estructuras en equilibrio y estructuras disipativas (1978:48). En esta "definición ampliada" del ecosistema se incluye a la sociedad humana, sus instituciones y sus individuos, como los elementos mediadores en la interacción hombre/naturaleza.

El modelo cibernético de Rappaport se desempeña bien cuando es aplicado a sistemas sociales "de baja energía", esto es, a los sistemas que funcionan con recursos renovables, sin depender del intercambio con otras sociedades. El cambio en estos casos consiste en un ajuste cíclico, a manera de un "eterno retorno". El ajuste está basado en mecanismos de retroalimentación negativa, que

inducen compensaciones en otros elementos del sistema, pero no hasta el punto de modificar la estructura. El "equilibrio ecológico" es aquí el postulado central. Debido a esto el enfoque cibernético de Rappaport fue calificado de neofuncionalista (Friedmann 1974). Sobra decir que estos sistemas ya no existen. Lo que se necesita ahora es un modelo que de cuenta de los cambios en un mundo cada vez más complejo e interdependiente.

El concepto de la cultura como un procesador de información o un homeóstato preprogramado, es una metáfora demasiado simple, cuyos límites se hacen evidentes cuando se la pretende aplicar a los casos de sistemas abiertos. Sin embargo, esto no obsta para hacer una lectura del trabajo de Rappaport a través del prisma de la teoría de los sistemas disipativos. Los conceptos de forma energética y flujo regulatorio pueden ilustrarse perfectamente con sus datos. Por ejemplo, Rappaport ofrece una descripción del trabajo humano como regulador de la producción hortícola en el trópico húmedo. Su rigor en la cuantificación es único y la acusación de "obsesión calorífica" es injusta. Al presentar sus resultados Rappaport plantea uno de los problemas más interesantes de la teoría de sistemas disipativos, el de la proporción entre el flujo sustantivo y el flujo regulatorio.¹⁸

¹⁸I estimated that approximately 310,000 calories per acre is expended on cutting, fencing, planting, maintaining, harvesting, and walking to and from taro-yam gardens. Sugar-sweet potato gardens required an expenditure of approximately 290,000 calories per acre. These energy ratios, approximately 17:1 on taro-yam gardens and 16:1 sugar-sweet potato gardens, compare favorably with figures reported for swidden cultivation in other regions (Rappaport 1979:30).

El mérito indudable de Rappaport es presentar un estudio de antropología ecológica, hasta ahora el más socorrido como ejemplo, en el que describe con precisión un "modo de producción muy antiguo, si no el primordial, (...) el de una sociedad regulada ritualmente" (1979:73).

2 RECAPITULACION E HIPOTESIS DE TRABAJO

A partir de las ideas expuestas me propongo desarrollar para el caso de estudio una hipótesis que denominaré *hipótesis de diversidad de insumos*. El concepto de energía, como la abstracción que es, no remite a la diversidad. Pero los flujos energéticos (tanto los sustantivos como los capacitadores) pueden ser de distinta calidad, potencialidad y eficiencia. La hipótesis de diversidad de insumos pretende abordar la problemática de un agroecosistema, como el del Rincón, que no puede calificarse con la etiqueta de "baja energía", ni con la de "alta energía", porque sus insumos y egresos son una mezcla de ambos tipos.

El Rincón -una región zapoteca serrana- fue por mucho tiempo un agroecosistema de tipo tradicional, basado en trabajo vivo, herramientas simples y transporte de bestia de carga. Como observan Wionczek y Foley, la principal característica de los sistemas de agricultura de autoabasto, es que están siempre "en correspondencia con una paridad de insumos de energía a lo largo de la cadena productiva" (Wionczek y otros 1983:25). No disponen de más "energía auxiliar" que la que se obtiene en el nivel de ecosistema local. En condiciones de relativo aislamiento, o -si se prefiere- de autonomía, un sistema de este tipo opera en un estado "cuasi-estable fluctuante", según una expresión de Sahlins, y regula sus variables dentro de los límites de lo posible. Este es el caso de los tsembaga de Rappaport, el de las "comunidades corporativas

cerradas" de Wolf (1981) y el de los campesinos modernos que describe Varela (1984), los que "administran autónomamente su miseria".

Pero ¿qué pasa cuando en un sistema estructurado alrededor de la "paridad de insumos" se introduce en algún eslabón (o en varios) un nuevo tipo de mecanismo de disparo? La diferencia "que hace la diferencia" es que en los últimos 20 años en el Rincón se han diversificado los flujos energéticos y el sistema perdió la capacidad de homeostasis, si es que alguna vez la tuvo.¹⁹ Se propagó en la región la red brechas madereras y de caminos de autotransporte, se introdujo la agroquímica y los monocultivos, principalmente la cafecultura, se cortó más leña y madera de los bosques, se diversificó el intercambio comercial con Oaxaca, se introdujo la energía eléctrica y con ella los molinos de nixtamal, a la par con los detergentes, que contaminaron los ríos. Se implementaron algunos procedimientos de la medicina moderna en las comunidades, mejoró la educación escolarizada, llegaron los medios masivos de comunicación, surgieron las cooperativas y arraigaron

¹⁹Creo tener suficientes datos para apoyar la hipótesis de un regulador difuso, de tipo *kaiko* a escala regional, que fue el mercado-plaza-fiesta. Este fenómeno fue descrito por Malinowski y de la Fuente como "sistema solar de mercados" (1957). El precio del maíz fungía como un indicador, alrededor del cual se corregían los demás precios. Un gran volumen de transacciones a bajo costo se efectuaba regularmente entre una gran cantidad de unidades económicas pequeñas, que eran productoras/consumidoras y no tenían ninguna ventaja especial en cuanto a capital, información, transporte, poder u otras. La información sobre el estado del sistema la obtenían los actores en la plaza y tomaban sus decisiones individualmente. Era un mecanismo correctivo.

varias denominaciones cristianas antes desconocidas. No hay pueblo que no tenga un grupo de migrantes, con su "mesa directiva" en la ciudad. Surgen nuevos comercios y organizaciones políticas; se ensayan distintos tipos de liderazgo e intermediación. El viejo mundo de la "comunidad corporativa cerrada" se está resquebrajando, a la vez que toma conciencia de sí mismo. A tal punto se está descomponiendo la vida de comunidad, que algunos de los protagonistas de esta historia lo describen como el fin del mundo. Este es el caso de los conversos evangélicos, señalados (y en ocasiones perseguidos) por los partidarios del viejo orden como los culpables de todo. El Rincón se está reorganizando alrededor de flujos energéticos viejos y nuevos, de "baja" y de "alta energía", buscando un nuevo balance en su relación con el medio y con el sistema social mayor.

Un agroecosistema con insumos tan dispares difícilmente puede ser una entidad autorregulada con capacidad de mantenerse en estado estable. Si bien esta es una posibilidad en el caso de sistemas remotos, autosuficientes y de "baja energía", el control demográfico en estos casos es natural y hay que ver los demás controles. Las comunidades campesinas que recurrían al "fondo ritual" (Wolf 1981) para solucionar sus problemas, ahora tienen que enfrentar una situación en que "sus partes internas ya no pueden manejar la cantidad y el tipo de energía de la que dependen" (Adams 1982). El sistema estudiado está intensificando sus relaciones de intercambio con el exterior con base en una especialización (la cafeti-

cultura para el mercado internacional), con lo cual aumenta su dependencia de flujos energéticos provenientes de fuera.

En relación con el tema del presente trabajo, que es la autoorganización de sistemas adaptativos sociales, la pregunta es cómo se forman los mecanismos de regulación en el nivel del agroecosistema regional, cómo se reparten los costos del "flujo energético capacitador" y como se distribuyen los costos del mantenimiento del sistema. La ventaja lotkiana de incorporar más materia y energía al sistema tiene que ver también con más información. ¿Cómo maneja el sistema emergente la información necesaria para reproducir la estructura del conjunto? Si bien estas son las preguntas de fondo, las tareas a realizar son las siguientes:

- 1 Analizar una serie de sistemas de tipo regulador/flujo (*trigger/flow*) para producir hipótesis sobre la interrelación entre ambos componentes.
- 2 Examinar los estudios de caso para delinear las condiciones bajo las cuales surgen estructuras disipativas nuevas.
- 3 Revisar los censos y otras fuentes de datos sobre la demografía de la región con el fin de conceptualizar los "vehículos de sobrevivencia" y elaborar hipótesis sobre los períodos medios de vida, las tasas de mortandad y mortalidad y las razones de éxito y fracaso.

3 BIBLIOGRAFIA

- Adams, Richard N.
 1975 **Energy and Structure: A Theory of Social Power.** University of Texas Press, Austin.
- 1978 **La red de la expansión humana. Un ensayo sobre energía, estructuras disipativas, poder y ciertos procesos mentales en la evolución de la sociedad humana.** Ediciones de la Casa Chata, México, D.F.
- 1981 Natural Selection, Energetics, and "Cultural Materialism". **Current Anthropology** 22(6):603-624.
- 1982 **Paradoxical Harvest.** Cambridge University Press, Cambridge.
- 1987 Vehículos de supervivencia social: acerca de la energética y la sociobiología de la expansión humana, en Glantz, Susana, ed., **La heterodoxia recuperada,** Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- 1988 **The Eight Day: social evolution as the self-organization of energy,** University of Texas Press, Austin.
- Bailey, Kenneth D.
 1990 **Social Entropy Theory.** State University of New York Press, Nueva York.
- Barrow, John D.
 1994 **Teorías del todo.** Crítica, Barcelona.
- Bateson, Gregory
 1990 **Espíritu y naturaleza.** Amorrortu, Buenos Aires.
- 1991 **Pasos hacia una ecología de la mente,** Planeta/Carlos Lohlé, Buenos Aires.
- Blackburn, Thomas R.
 1973 Information and the ecology of scholars. **Science** 181:1141-1146.
- Boulding, Kenneth E.
 1968 **Beyond Economics.** University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Brillouin, L.
 1962 **Science and Information Theory.** Academic Press, Nueva York.
- Brockman, John
 1996 **La tercera cultura. Más allá de la revolución científica.** Tusquets Editores, Barcelona.

- Brooks, Daniel y E.O. Willey
1988 **Evolution as Entropy**. The University of Chicago Press, Chicago.
- Capra, Fritjof
1982 **The turning point**. Simon and Schuster, Nueva York.
- García-Colín S., Leopoldo
1986 **De la máquina de vapor al cero absoluto (calor y entropía)**. FCE, México, D.F.
- Deléage, Jean Paul
1993 **Historia de la ecología. Una ciencia del hombre y la naturaleza**. Icaria, Barcelona.
- Dyson, Freeman J.
1975 La energía en el universo. En: autores varios, **La energía**. Alianza Editorial, Madrid.
- Ellen, R.F.
1982 **Environment, Subsistence and System. The Ecology of Small-Scale Social Formations**, Cambridge university Press, Cambridge.
- Frantschi, S.
1982 Entropy in Expanding Universe. **Science** 217:593-599.
- Friedman, Jonathan
1974 Marxism, Structuralism and Vulgar Materialism. **Man** 9.
- Geertz, Clifford
1987 **La interpretación de las culturas**, Gedisa, Barcelona.
- Georgescu-Roegen, Nicholas
1981 Afterword. En Rifkin, Jeremy y Tom Howard, **Entropy**, Batnam Books, Nueva York.
- Glansdorff, P. e Ilya Prigigine
1971 **Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations**. Wiley Interscience, Nueva York.
- Glantz, Susana
1987 **La Heterodoxia recuperada: en torno a Angel Palerm**. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Harris, Marvin
1982 **El materialismo cultural**. Alianza Editorial, Madrid. [1979]
- Juday, Chancey
1940 The Annual Energy Budget of an Inland Lake. **Ecology** 21(4):-438-450.

Layzer, D.

1975 The Arrow Time, **Scientific American** 233:56-69.

Leff, Enrique (coordinador)

1981 **Biosociología y articulación de las ciencias**. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Lindeman, R.L.

1942 The trophic-dynamic aspect of ecology. **Ecology** 23:399-418.

Lorenz, Konrad

1993 **La ciencia natural del hombre. "El manuscrito de Rusia". Introducción al estudio comparado del comportamiento**. Tusquets, Barcelona.

Lotka, Alfred

1925 **Elements of Physical Biology**. Dover, Nueva York.

Lovelock, James, Gregory Bateson, Lynn Margulis y otros

1992 **Gaia. Implicaciones de la nueva biología**. Kairos, Barcelona. [1987]

Machlis, Gary Edward

1979 Energy flow and social order: the influence of energy interdependence upon social organization. Yale University Ph.D./University Microfilms International, Ann Arbor.

Malinowski, Bronislaw y Julio de la Fuente

1957 **La economía de un sistema de mercados en México. Un ensayo de etnografía contemporánea y cambio social en un Valle mexicano**. Acta Antropológica 2(2), México, D.F.

Margalef, Ramón

1968 **Perspectives in Ecological Theory**. University of Chicago Press, Chicago.

1980 **La biosfera. Entre la termodinámica y el juego**. Omega, Barcelona.

1984 **Energía. Su conversión, conservación y destino en los ecosistemas**. Compañía Editorial Continental, México, D.F.

Martínez Alier, Joan

1993 Valoración económica y valoración ecológica. En Naredo y Parra 1993:29-56.

Martínez Veiga, Ubaldo

1978 **Antropología ecológica**, Editorial Adra, La Coruña.

Moran, Emilio F. (editor)

1990 **The Ecosystem Approach in Anthropology. From Concept to Practice**. University of Michigan Press, Ann Arbor.

- Moran, Emilio F.
1993 **La ecología humana de los pueblos de la Amazonia.** Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Naredo, José Manuel y Fernando Parra (compiladores)
1993 **Hacia una ciencia de los recursos naturales.** Siglo XXI de España Editores, Madrid.
- Odum, Eugene
1972 **Ecología,** Nueva Editorial Interamericana, México, D.F.
- Odum, Howard T.
1957 Trophic Structure and Productivity of Silver Springs, Florida. **Ecological Monograph** 27(1):55-112.

1971 **Environment, Power and Society.** Willey Interscience, Nueva York.
- Passmore, J.
1978 **La responsabilidad del hombre frente a la naturaleza,** Alianza Editorial, Madrid.
- Pattee, Howard H. (editor)
1973 **Hierarchy Theory: The Challenge of Complex Systems.** George Brazillier, Nueva York.
- Prigogine, Ilya
1983 **¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden,** Tusquets Editores, Barcelona.
- Prigogine, Ilya e Isabelle Stengers
1983 **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. The Original Background Papers for "Goals of Mankind". A Report to the Club of Rome.** Pergamon Press, Nueva York, 1-63.
- Puntí, Albert
1988 Energy Accounting: Some New Proposals. **Human Ecology,** 16(1):79-86.
- Rappaport, Roy
1968 **Pigs for the Ancestors: ritual in the ecology of a New Guinea people,** Yale University Press, Yale.

1975 Naturaleza y antropología ecológica, en Shapiro, H.L., ed., **Hombre, cultura y sociedad,** Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

- 1979 **Ecology, meaning, and Religion**, Notrh Atlantic Books, Richmond.
- Rifkin, Jeremy y Ted Howard
1980 **Entropy. Anew World View**. Viking Press, Nueva York.
- Sahlins, Marshall
1977 **Economía de la Edad de Piedra**, Akal Editor, Madrid.
- Schrödinger, Ervin
1984 **¿Qué es la vida?** Tusquets Editores, Barcelona.
- Taylor, Peter J.
1988 Technocratic Optimism, H.T.Odum and the Partial Transformation of Ecological Metaphor after World War II. **Journal of the History of Biology**, 21(2):213-244.
- Transeau, Nelson E.
1926 The Accumulation of Energy by Plants. **The Ohio Journal of Science** 26:1-10.
- Trintschner, K.S.
1965 **Biology and Information**. Consultants Bureau, Nueva York.
- Varela, Roberto
1984 **Expansión de sistemas y relaciones de poder**. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F.
- White, Leslie
1987 The Energy Theory of Cultural Development. En: Dillingham, Beth y Robert Carneiro, **Ethnological Essays**, University of New Mexico Press, Alburquerque. [1954]
- 1964 **La ciencia de la cultura**. Paidós, Buenos Aires.
- Wilson, Edward O.
1980 **Sociobiología. La nueva síntesis**. Ediciones Omega, 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, D.F.
- Wolf, Eric R.
1981 Comunidades corporativas cerradas de campesinos en Mesoamérica y Java Central. Llobera, Josep R. (compilador), **Antropología económica**. Anagrama, Barcelona.