

La indeterminación entrópica

Notas sobre disipación de energía, evolución y complejidad

Leonardo Tyrtania

Complejidad es un régimen físico de no equilibrio en que los sistemas existen al borde del caos y la incertidumbre. Existir es disipar energía. La complejidad es el arte de transferir la energía disipada a otros tiempos, otros espacios y otros sistemas. El *paradigma de la complejidad* proporciona elementos tanto para explicar como para ordenar la realidad. Nuestro conocimiento es capaz de incidir porque evoluciona como parte integral de la realidad misma. *Cultura* es el nombre de un nuevo género de complejidad que proporciona el ambiente idóneo para incluir sistemas de distinta naturaleza en sistemas disipativos sociales.

► 41

PALABRAS CLAVE: entropía, evolución, complejidad, sistema, cultura

Entropic Indeterminateness. Notes on Energy Dissipation, Evolution and Complexity

Complexity refers to a non-equilibrium physical regime in which systems exist on the brink of chaos and uncertainty. To exist means dissipating energy. Complexity is the art of transferring dissipated energy to other times, spaces and systems. The *complexity paradigm* provides elements that allow us to explain and order reality. Our knowledge is able to give us bearings because it evolves as an integral part of reality itself. *Culture* is the name of a new kind of complexity that provides the ideal environment for the inclusion of systems of a different nature within social dissipation systems.

KEY WORDS: entropy, evolution, complexity, system, culture

LEONARDO TYRTANIA: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México-Distrito Federal
lt@xanum.uam.mx

Desacatos, núm. 28, septiembre-diciembre 2008, pp. 41-68.

Recepción: 29 de enero de 2008 / Aceptación: 7 de febrero de 2008

A Roberto Varela Velásquez, in memoriam

QUÉ ES LA COMPLEJIDAD

El sentido común equipara lo complejo con lo complicado por oposición a lo simple y lo homogéneo. Pero, ¿hay algo sencillo en este mundo? Se ha dicho que “la naturaleza es simple y, por eso mismo, de una gran belleza” (Richard Feynman). Hoy estaríamos más de acuerdo con Samuel Butler, quien decía que la naturaleza es una “gran chapucería” (lo cual no necesariamente riñe con la belleza, como lo comprueba el arte moderno). ¿Qué pasó, entonces, para que se cambiara de opinión, al menos en ciertas áreas de la ciencia? Sucedió que físicos y biólogos se dieron cuenta de que el mundo es espontáneamente caótico, selectivamente ordenado y sobrecogedoramente diverso. La mítica idea de un caos primigenio que funge como la matriz del orden apareció súbitamente de nuevo, ahora como el telón de fondo de la “ciencia de lo complejo” (May, 1974), antes la “teoría del caos” (Wiener, 1948). Parafraseando a Lévi-Strauss, lo que sucedió fue la irrupción de lo arbitrario en nuestra visión del mundo¹. La naturaleza es la gran hipótesis de la mente humana de que existe ahí afuera un mundo más o menos independiente de nuestra percepción. Cómo es que nosotros formamos parte de él, sigue siendo un misterio, porque lo observamos desde la cultura, que es un constructo socialmente condicionado. El punto es que la naturaleza se postulaba hasta hace poco como perfectamente ordenada. Si hay orden en una parte del universo —se decía—, debe haberlo en todas. Nosotros podemos estar locos o cuerdos, es opcional, pero la naturaleza no, la naturaleza debe ser racional e imperturbable. Cuando los físicos empezaron a hablar de cuestiones tales como el “caos creativo”, el “azar determinístico”, el “orden gratuito”, la “teoría de catástrofes”, la “domesticación del azar”, la “criticalidad auto-organizada”,

los “atractores extraños”, los “sistemas de no equilibrio” y cosas por el estilo, en el otro bando —en el de humanidades y ciencias sociales— se tuvo esa extraña sensación de saber de antemano que se estaba hablando de esa maraña de contradicciones y arbitrariedades que es nuestro mundo, del cual la sociedad humana no es sino una puesta en escena entre otras más. “El universo se ha vuelto fantástico a nuestra mente” (Eddington, 1998: 225). Cuanta más información se le extrae, menos sentido se le puede asignar. Físicos de renombre, como Richard Feynman (citado más arriba), reconocen abiertamente que la ciencia contemporánea no ofrece una imagen del mundo del todo comprensible. Eso no es de extrañar si aceptamos que el conocimiento no evoluciona parejo en todas las áreas y en todas las direcciones. Pero también cabe la posibilidad de que el mismo universo no evolucione de manera tersa y uniforme. Y no hablemos de las realidades sociales. Un ejemplo elocuente del sistema caótico que, sin embargo, funciona (al menos puede hacerlo por algún tiempo) es el sistema capitalista mundial que todos padecemos. Éste sí que es un montaje fantasmagórico.

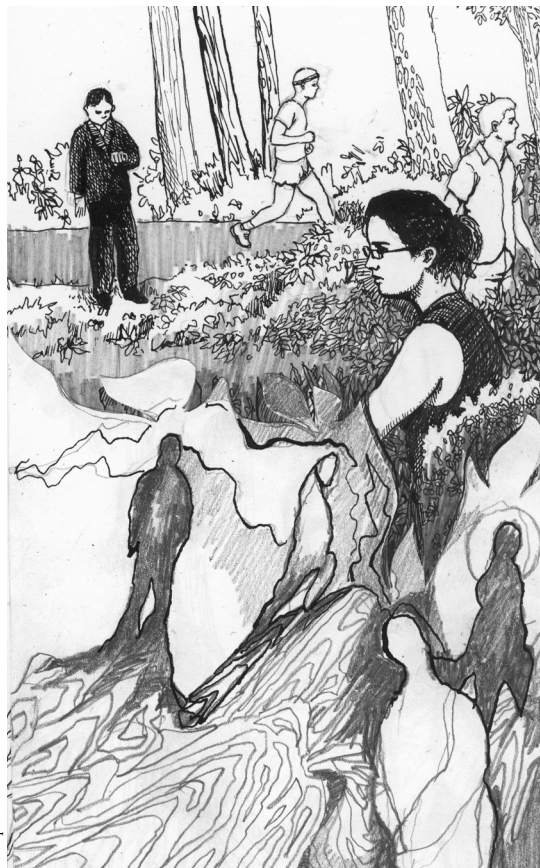
¿Pero quién querría vivir en un mundo perfectamente ordenado y totalmente comprensible? ¿Y quién pudiera vivir en una realidad absolutamente azarosa e impredecible? Es difícil pensar en un “justo medio” entre estos extremos; lo que tenemos, a la sazón, es un régimen de complejidad, en el que los sistemas llevan una existencia al filo del caos y la incertidumbre en un tiempo irreversible. La cualidad de lo complejo se refiere a esa amalgama de determinismo e impredecibilidad con la que contamos a cada paso en la vida. Por lo que a la ciencia concierne, ya no le importa exhibir contradicciones, paradojas y problemas imposibles de resolver. Quien quisiera una ciencia libre de contrasentidos debería dedicarse al estudio de los aspectos uniformes, invariables y ahistóricos del universo. Por algún tiempo se creía que eran los atributos de la “materia inerte”. Pero desde que la termodinámica introdujo la “flecha del tiempo” puso en duda los fundamentos de la física decimonónica². Los estereotipos vigen-

¹ “La cultura es la irrupción de lo arbitrario en la naturaleza” (Lévi-Strauss, 1967). Ésta era una cita preferida de Roberto Varela (véase Varela, 2005). Pero en cierto sentido la naturaleza toda es arbitraria (los físicos prefieren hablar, a propósito, de “principio antrópico”). No es válido oponer radicalmente los conceptos de natura y cultura en el contexto de la evolución.

² La *flecha del tiempo* es un término acuñado por Arthur S. Eddington para indicar la dirección irreversible de los procesos de transformación de la energía debido al aumento de entropía exigido por la segunda

tes sobre la “naturaleza inanimada” perdieron su sostén. La termodinámica describe la evolución de los sistemas de manera exhaustiva (en el aspecto energético) sin importar la “materia prima” de la que están hechos dichos sistemas. Es importante entender que la termodinámica no se refiere a una cuestión escatológica, como podría ser la muerte térmica del cosmos, sino a una cuestión de aquí y ahora: todos los esfuerzos que realizamos son, en última instancia, para mantenernos alejados del estado del equilibrio termodinámico. Las poderosas generalizaciones de la termodinámica se refieren a los procesos naturales, incluidos los orgánicos y los sociales, en cuanto procesos irreversibles. El paradigma da cuenta de una realidad compleja, cuyas “islas del orden” flotan en un inmenso océano del caos (Boulding, 1968). La integración de estas “islas” es siempre incierta, sujeta a condiciones azarosas de un entorno en parte predecible y en parte inimaginable. La complejidad no se define por la cantidad de variables o partes que intervienen en el funcionamiento de un sistema, sino como producto de una dinámica de la actuación unidireccional de la ley de entropía, como se verá más adelante. La cantidad de definiciones que podemos encontrar en la literatura especializada sobre el tópico se debe a que la complejidad tiene algo de inasible: se refiere a un sinnúmero de fenómenos disímiles y en más de un sentido supera nuestras capacidades de comprensión. En este ensayo abordaré el polifacético concepto de complejidad (elaborado en ciencias exactas) en cuanto su utilidad en los análisis de los fenómenos sociales. El presente es un trabajo de aproximación desde

ley. La asimetría en el tiempo es una característica fundamental del universo aun cuando no entra en los cálculos de la mecánica newtoniana, de la relatividad general y de la mecánica cuántica. Hay al menos tres flechas del tiempo reconocibles. La flecha psicológica (la dirección en la que nosotros sentimos que pasa el tiempo), la flecha termodinámica (aumento de entropía en todo suceso macrofísico) y la flecha cosmológica (la dirección del tiempo en la que el universo se expande). También hay una flecha de tiempo en la evolución orgánica. Conforme se despliegan las ramas del árbol evolutivo, disminuyen las clases de diseño orgánico, pero aumenta la diversidad de las especies. Al principio hay experimentación, luego estandarización. Esta asimetría en la diversidad biológica “refleja una ley más general y básica acerca de la historia del cambio en los sistemas naturales” (Gould *et al.*, 1987: 1437). “La evolución tiene un componente vertical que afecta a la complejidad de los organismos, y otro horizontal que afecta a su diversidad” (Wagensberg, 2002: 44).



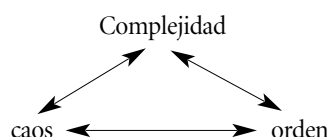
Enrique Lomnitz

la epistemología, que precede la elaboración del modelo que guiará la investigación empírica.

Una definición general que puede aplicarse en todos los casos sin excepción, aunque no describa las características particulares de cada fenómeno, es la siguiente. La complejidad es “propiedad del sistema que indica su estatus disipativo o la tasa de disipación que sostiene” (Adams, 1988: 66)³. La complejidad no es lo mismo que

³ Obsérvese que es la *tasa* de la disipación la que indica el grado de complejidad, no la cantidad de energía total disipada. Un volcán en erupción parece más activo (disipa más energía) que todos los seres vivos que pudo haber afectado, pero si calculamos la energía específica que disipó (por unidad de masa) veremos que un ser vivo es muchísimo más entrópico que cualquier fenómeno meramente físico. Por ejemplo, el cuerpo humano libera una caloría/hora/gramo de energía, en tanto que el Sol produce por el mismo tiempo y peso 2.10^{-4} calorías. En tér-

el orden. La complejidad puede ser ordenada o desordenada, el orden puede ser complejo o simple (Adams, 1983: 146). La complejidad es la característica de un sistema que “existe”, esto es, disipa la energía, en un régimen de no equilibrio. Como resultado, produce desorden y orden a la vez. El principal efecto —la “producción” de entropía— es ineludible y se explica por la segunda ley de la termodinámica. El segundo —la generación del orden— no es de ley, sino resultado no necesario y poco probable de la evolución. El orden es un producto residual de la selección. Ambos resultados —la entropía y el orden— son divergentes, pero operan simultáneamente en el marco de un régimen físico de no equilibrio en el que los sistemas muestran características que parecen incompatibles:



44 ◀

| | |
|------------------|----------------|
| disipación | estructuración |
| no linealidad | determinismo |
| incertidumbre | información |
| deestructuración | retención |
| perturbación | patrón |
| azar | regularidad |
| riesgo | redundancia |
| ... | ... |
| entropía | evolución |

En la teoría de sistemas la complejidad es el comportamiento emergente, resultado de una *propensión* de los procesos evolutivos hacia objetivos singulares, no predeterminados, cuyas reglas de estructuración surgen sobre la marcha⁴. Si la complejidad pudiera definirse de mane-

ra simple y sin incurrir en antinomias, no haría honor a su nombre⁵. De todos modos, la misma debe explicarse a partir de unas reglas sencillas para quedar al alcance de nuestra comprensión. “El ser humano puede manejar algo cuando puede ‘reducirlo a su tamaño’. Si no puede hacerlo, ese algo lo manejará a él” (Adams, 1983: 306). La capacidad humana de manejar situaciones complejas es limitada y la simplificación de los problemas en el marco de un modelo no asegura el éxito, pero es un método racional a nuestro alcance. Lo que pretende el ser humano con la reducción de los problemas “a su tamaño” es participar en los procesos evolutivos de manera activa y tal vez más consciente. Después de todo, una determinada definición de la complejidad responde a los intereses de la investigación y los objetivos de la actividad que nos proponemos desarrollar.

Si bien la calidad de lo complejo no se puede entender recurriendo al análisis de las partes, la solución consiste en tratarlo como una *característica emergente* de sistemas evolutivos. Pero ¿qué podemos decir *a priori* de una característica emergente? Tal vez sólo una cosa: que se instala como una paradoja a resolver. El aumento en la complejidad está acompañado siempre de un aumento en la incertidumbre. El riesgo que define la complejidad emergente se debe al *principio entrópico*: la creación del orden en una parte del mundo sólo se puede dar a expensas de la destrucción del orden en otras partes del mismo⁶. Quien formule este principio con la precisión que la ciencia requiere contribuirá a explicar la evolución y sus rodeos; por ahora debemos contentarnos con intuiciones y definiciones aproximadas.

La complejidad y sus riesgos, pues, son las facetas de un mismo proceso evolutivo que se despliega en el nivel fisi-

minos de la tasa, un gramo de peso corporal humano libera entonces 10 000 veces más calor que un gramo del Sol (Calvet y Prat, 1956, cit. en Adams, 1983). He aquí una posible medida de complejidad.

⁴ “Propensión” es un concepto elaborado por Popper (1990). Se deriva del concepto de fuerza y extiende la indeterminación cuántica a escalas de fenómenos macrofísicos. La propensión es cohesión local y tem-

poral de un sistema dinámico. La propensión es siempre contextual, a diferencia de la fuerza, que es universal. La causalidad mutua, típica de la auto-organización, desempeña un papel central en la propensión actuando asimétricamente, de manera no proporcional y no reversible.

⁵ “Antinomia” es un término usado por Kant, que se refiere a una contradicción más o menos permanente (nada es para siempre), en la que una síntesis superior nunca se produce.

⁶ “Principio entrópico: el progreso de un rincón del universo implica el regreso de otro rincón del universo” (Wagensberg, 2002: 36). “Desde el punto de vista termodinámico, la construcción sólo puede ocurrir con el respaldo de la destrucción” (Adams, 1988: 57).

coquímico, biótico y social. Complicarse la vida o morir, parece ser la consigna de la evolución, aun cuando una mayor complejidad implica problemas todavía mayores de los que intenta resolver. Los sistemas alejados del equilibrio termodinámico son sistemas improbables, frágiles e inciertos. Tienen que arreglárselas en un mundo que cambia a cada instante, siendo ellos mismos los que contribuyen con su actividad a la incertidumbre de su propio entorno. El funcionamiento y la reproducción de estos sistemas sólo es posible en la medida en que logran contrarrestar las pérdidas asociadas a toda transformación energética y esto se consigue únicamente —he aquí la paradoja— con más disipación. Si por algún arte de magia los entes complejos pudiesen mantenerse en estado estable, sin arriesgar nada, la evolución quedaría sin oportunidades.

El grado de complejidad indica el nivel evolutivo de un sistema, esto es, su estatus termodinámico: qué tan lejos está del equilibrio y, lo que es lo mismo, qué tanta entropía produce para sobrevivir. Al definir la complejidad como *la medida del alejamiento del estado de equilibrio termodinámico*, que es el estado definitivo para todos, estamos postulando estados provisionales (temporales y locales) que serán objeto de estudio a la luz del *paradigma de la complejidad*⁷.

En definitiva, la entrada al laberinto de la “ciencia de la complejidad” es por la puerta de la termodinámica. Es la lógica del principio de entropía la que hace de hilo de Ariadna. Formalmente la termodinámica es una rama de la física y, como tal, es inteligible sólo para los especialistas en la materia. Sin embargo, la termodinámica también devino a ser la fuente de información básica de cómo funciona el mundo, algo que debe ser accesible

al común de los mortales. Henri Bergson dijo que la segunda ley de la termodinámica es “la más metafísica de las leyes de la física”. Los principios de la termodinámica trascienden las fronteras de la ciencia en la que fueron formulados en la medida en que describen el fundamento físico de los procesos naturales. Los principios de la termodinámica proporcionan —como dirían los lingüistas— una gramática universal que determina la estructura de todos los sistemas complejos, ya sean fisicoquímicos, biológicos, económicos, sociales, culturales, psicológicos, cognitivos o de cualquier índole, todos ellos naturales por derecho propio. Con todo, hay quienes opinan que hace falta una formulación de los principios de la termodinámica en términos que darían cuenta del surgimiento del orden, esto es, hace falta una “cuarta ley” que permitiera entender cómo los sistemas evolutivos evitan el caos. Ahora bien, no es necesario esperar que concluyan todos los debates para aceptar el concepto de entropía; la segunda ley está bien establecida y el significado del principio de disipación se conoce como el más elemental y de sentido común: no es posible quemar dos veces el mismo leño. Hay que ir de nuevo a por él, gastar energía nuevamente, e ir cada vez más lejos. Los principios de la termodinámica traducidos a un lenguaje sencillo dicen lo siguiente:

- En el mundo en que vivimos la energía es constante y la entropía (energía inútil) aumenta a cada instante: nada permanece igual.
- La disipación de la energía no se puede detener ni mucho menos revertir: la energía no es reciclable.
- El principio de entropía es el motor de la evolución: sobrevivimos en un mundo cuyo desgaste aumenta.

La evolución es “un camino sin retorno para todos” y se despliega en medio de la “indeterminación entrópica”, según la sugerente expresión de Nicholas Georgescu-Roegen (1996). Quiere decir que el proceso energético es la base físico-material de todos los procesos prebióticos, biológicos y sociales. En el transcurso del proceso evolutivo no se puede predecir qué es lo que ocurrirá, ni cuándo, ni cómo. La termodinámica no lo explica todo, sólo impone la razón de ser o, más bien, la del devenir:

⁷ El *paradigma* es el molde del pensamiento, un estereotipo, según Wittgenstein. Según Kuhn, un conjunto de creencias, valores y técnicas compartido por una comunidad. Un paradigma tiene la capacidad de asimilar las anomalías, propiedad que le viene del desarrollo acumulativo y cuyo límite provocará su sustitución por otro paradigma mediante una “revolución”. Autores como Prigogine, García, Brockman y otros consideran el *paradigma de la complejidad* como una revolución de dimensiones copernicanas en la ciencia. A juicio de García la teoría de sistemas disipativos “ha conducido [...] a uno de los avances más espectaculares de la ciencia contemporánea” (2006: 60), el de extender la evolución a fenómenos fisicoquímicos, cognitivos y sociales.



los fenómenos macrofísicos se deben a la “producción” de la entropía⁸. Si no se toma en cuenta este principio se corre el peligro de contemplar un mundo irreal en el que el consumo de energía no tiene consecuencias. Un paraíso, pues. Los sistemas que no producen entropía son impensables, por lo tanto no existen (o están completamente fuera de alcance de nuestra comprensión). Los que llevan una existencia en el mundo de la imaginación, los productos de la mente, se sostienen a partir de los recursos propios del sistema nervioso humano y

asociados (bibliotecas, escuelas, Internet, satélites y demás dispositivos habidos y por haber). No hay información que no ocupe tiempo, espacio y recursos energéticos. De ahí que no hay complejidad que pudiera desvincularse del tiempo, el espacio, los recursos y la información. La complejidad es básicamente un fenómeno informático, pero la información no es un fenómeno inmaterial. La información no puede en ningún momento prescindir de su soporte físico, de su *hardware*, en el lenguaje de la cibernética, o de su *wedware* de los sistemas biológicos. El soporte biológico no es sólo el ADN, sino también la memoria fisiológica, neurológica, organísmica, comunitaria y ecológica. Las estructuras sociales aprovechan estos soportes construidos por la evolución con anterioridad y agregan los suyos. Elaboran sus propios códigos parti-

⁸ La microfísica no necesita del principio de entropía. En el mundo subatómico las nociones de tiempo, espacio, causalidad, proceso e, incluso, la misma noción de realidad carecen del sentido que se les asigna comúnmente (Hacyan, 2004: 199).

culares de intercambio de información. Los costos que se pagan por el procesamiento de la información en términos energéticos se elevan progresivamente en la medida en que nos desplazamos “hacia arriba” en la escala de la evolución y dependiendo del nivel en que ubiquemos el sistema de referencia.

El objeto de estudio que postula el paradigma de la complejidad es el sistema, con más precisión el *sistema disipativo*⁹, que es un sistema termodinámicamente fluido, abierto a los intercambios con el medio¹⁰. Un objeto nunca se define por sí solo, sino por su tipo lógico: el sistema es “él y sus circunstancias”. El problema de trazar las fronteras del sistema abierto o, lo que es lo mismo, distinguirlo de su entorno, es una dificultad que no tiene una solución única y que revela siempre el mismo problema, una paradoja de fondo: no se puede conocer el valor total de la energía de un sistema o de un ensamble de sistemas, pero sí se puede medir su potencial de trabajo y obtener indicadores de su estado sobre la base de la primera y la segunda ley de la termodinámica. Feynman (1965) va más allá y afirma que “es importante darse cuenta que hoy en día en física no sabemos qué es la energía... Sin embargo, hay fórmulas para calcular algunas cantidades numéricas, y cuando sumamos todo da siempre el mismo número”¹¹.

⁹ El término de “sistema disipativo” fue acuñado por Prigogine para vincular su desempeño directamente con la entropía. Es un sistema termodinámicamente abierto en el que la estabilidad de la estructura concuerda con la fluidez del cambio. Es una entidad que usa el flujo de materia-energía-e-información para incrementar su organización interior. Debe advertirse que la teoría de sistemas y el análisis sistémico de *input/output* son dos enfoques distintos.

¹⁰ Es preciso distinguir entre sistema aislado y sistema no aislado (abierto y cerrado). Sistema *aislado* es aquel que no intercambia nada con el medio; sistema *abierto* es el que intercambia la materia y la energía; sistema *cerrado* es el que intercambia la energía. Nótese que este último, a pesar de su nombre, también está abierto. Los sistemas reales son abiertos y/o cerrados, sus características se determinan dependiendo de los objetivos de la investigación. Por ejemplo, la biosfera: está abierta a los flujos de energía y cerrada a los demás, pero sólo si prescindimos de la materia que proviene del espacio. En realidad no sólo los meteoritos, sino toda la materia del globo terráqueo viene “del espacio”. La termodinámica clásica se ocupa de los sistemas aislados. La *termodinámica de procesos irreversibles* (Prigogine) se ocupa de los sistemas no aislados. Estos últimos son sistemas dinámicos en el sentido en que sus propiedades cambian con el tiempo.

¹¹ Se refiere a que la energía de un sistema aislado es constante. La *energía* es una función matemática asociada con la masa, la posición,

Los dos principios de la termodinámica (la energía se conserva, la entropía crece) son válidos tanto para los sistemas aislados como para los no aislados. Lo anterior es la apuesta teórica de Ilya Prigogine. La diferencia es que los sistemas no aislados pueden transferir la entropía a otros sistemas y llegar así, temporal y localmente, a una constante de intercambio, que es el *estado estacionario*. Para asegurar el insumo energético constante, un sistema dinámico buscará afinidades y construirá alianzas, por decirlo en términos antropomórficos, con otros sistemas. En la medida en que se dan nuevos arreglos, surgen *sistemas inclusivos autorreplicantes* (Adams, 1982) que se vuelven más variados y más complejos con el tiempo. Los pasos elementales en esta dirección se dan en el nivel físico: la “selección termodinámica” —término acuñado por Hamilton (1977)— elabora “bloques de construcción” (sistemas de mínima producción de entropía) con los que se ensamblan los “objetos compuestos” o estructuras ordenadas de un nivel superior. Ahora bien, las formas en física no son las mismas que en biología o en ciencias sociales. Lo que distingue las formas de un nivel y otro son las propiedades emergentes. Las formas o procesos disipativos tienen en común la dinámica energética, pero en cada nivel aparecen particularidades que la termodinámica por sí sola no explica.

En el nivel biológico tenemos muchas formas de coevolución, tales como la simbiogénesis (Margulis y Sagan, 1996), el mutualismo, el parasitismo y las demás, basadas todas ellas en la adaptación y la contra-adaptación. Son procesos autopoieticos (poeta en griego significa “el hacedor”). Las formas autopoieticas se construyen a sí mismas elaborando una “clausura operativa” (Maturana y Varela, 1997 [1973]), cuyo ejemplo más elaborado es el sistema inmunológico de un organismo. Los sistemas biológicos se especializan en procesar la información, como ya se ha dicho, por vías genéticas, fisiológicas, neu-

la velocidad, la temperatura, la presión, el electromagnetismo, el número de inflexiones de las moléculas de un gas ideal y otras magnitudes que permiten medir los estados del sistema. Desde el punto de vista ingenieril la energía es la capacidad de un sistema para realizar el trabajo. En términos más generales la física moderna asocia “energía” con el campo, donde el concepto sustituye al de “fuerza”.

rológicas; en una palabra, instintivas (el instinto es un procesador de información), mientras que en las especies sociales estas vías se combinan con los códigos adquiridos mediante el aprendizaje que posibilita aprendizaje (el “deutero-aprendizaje” según Bateson).

El procesamiento de la información por medio de los símbolos es la característica inédita de los conjuntos evolucionados en tanto conjuntos sociales. Ese repertorio de códigos que constituye la cultura permite ampliar enormemente las relaciones entre sistemas de los niveles adyacentes, el físico-químico y el biológico. Debido a la capacidad de simbolización y del uso del lenguaje, los humanos crean sistemas sin precedentes en la naturaleza. Eso no significa que los sistemas sociales dejan de ser naturales. Es natural todo sistema que intercambia energía, materiales e información con el entorno. La cultura tan sólo intensifica estos intercambios. La razón última de este aceleramiento es la necesidad de sostener el balance entrópico a favor del sistema adaptativo en un tiempo y un contexto favorables. La única manera de conseguir la eficiencia termodinámica consiste en transferir la entropía al medio o, lo que es lo mismo, aprovechar el trabajo de las demás formas energéticas. Los sistemas permanecen en el juego de la evolución mientras logran conseguir formas energéticas de baja entropía y expulsar al medio las de alta entropía (las que tienen su potencial de trabajo desgastado). Con el tiempo, el medio se satura de formas degradadas y el problema ya no es tan sencillo como comer y evitar ser comido: habrá que buscar fuentes energéticas nuevas o usar las existentes con más eficiencia antes de sucumbir definitivamente. La elección es entre vivir despacio (consumir menos) o vivir más intensamente (arriesgar más).

En fin, por cada cosa que afirmemos de la evolución, lo contrario también será cierto. La evolución de sistemas dinámicos tiene tanto de redundante como de novedoso, tanto de predeterminado como de impredecible, tanto de continuo como de percedero. La evolución “es un proceso masivamente paralelo y prodigiosamente derrochador; es un proceso no planeado, no previsor, en el que, sin embargo, los incrementos mínimos han sido utilizados económicamente, copiados y vueltos a copiar a lo largo de miles y millones de años” (Dennett, 1999: 295).

Es así como se elaboran los patrones evolutivos que apuntan hacia la complejidad, en la que pueden sobrevivir sistemas sencillos y hasta involucionados. La evolución no es progreso. La evolución es un proceso que no responde a ningún propósito específico, pero como proceso pausado puede adquirirlo (el propósito, la direccionalidad) por sí sola. Si la evolución no tiene sentido, como dijera alguna vez Karl Popper, su ventaja sobre otras concepciones del universo consiste en que podemos atribuírselo. Esto es, podemos incorporar a la realidad nuestros objetivos particulares. Para ello, lo único que necesitamos es disponer de suficiente tiempo, energía, materiales e información.

Los procesos evolutivos son paradójicos. Marcados por la incertidumbre y el riesgo, no obedecen más ley que la indeterminación entrópica. Sus discordancias, sin embargo, pueden ser de algún modo complementarias. ¿De qué modo? Aquí está el *quid* de la cuestión. De modo *estocástico*: lo que es azaroso en un nivel, se torna inequívoco en el siguiente. Lo que es inexplicable en el horizonte de los sucesos, es coherente en el nivel de la selección. Para quien no está familiarizado con este argumento —desarrollado en matemática y física—, el planteamiento puede parecer algo esotérico¹². Procuraré exponerlo más abajo con algún detalle a propósito de la cuestión de la causalidad. El autor que introdujo el concepto de causalidad estocástica en ciencias sociales fue Gregory Bateson. En el libro titulado *Mind and Nature* (1993), publicado en 1979¹³, desarrolla una propuesta epistemológica basada en la selección darwiniana, que es el ejemplo de un pro-

¹² En 1974 Robert M. May, uno de los fundadores de la ciencia de la complejidad, publicó *Stability and Complexity in Model Ecosystems*, en el que plantea un modelo no lineal de ecosistema. Un modelo *no lineal* es un algoritmo matemático en el que diferencias mínimas en el valor inicial de alguna variable conducen a trayectorias distintas. Este modelo, por contraste con uno lineal, admite sorpresas: una causa pequeña puede desencadenar grandes transformaciones, como en el “efecto mariposa” de Lorenz, que es el ejemplo de un comportamiento estocástico de un sistema complejo. El modelo propone un *mecanismo* (regularidad, en termodinámica) mediante el cual el sistema procesa la información a modo de un *algoritmo* (secuencia de pasos hacia la solución de un problema formulado en términos matemáticos).

¹³ El título *Mind and Nature* fue erróneamente traducido como *Espíritu y naturaleza*. Mente no es lo mismo que espíritu. Una interpretación esotérica espiritualista desvirtuaría el argumento de Bateson.

ceso estocástico por antonomasia. Al exhibir de manera explícita su base epistemológica, el autor se expone a la crítica, esto es, a un procedimiento en esencia autocorrectivo, que es el núcleo de su propuesta cognitiva. En las ciencias sociales, “presas de un profundo pánico epistemológico”, según Bateson, es importante asumir un modelo de causalidad compatible con las ciencias duras. El autor opta por la “causalidad recíproca”, el mecanismo cibernético de realimentación, el preferido —por cierto— de la evolución.

Los sistemas que tienen la capacidad de corregir su propia trayectoria, esto es, que tienen la capacidad de auto-organización, se dicen dinámicos, adaptativos, autopoieticos, autorreplicantes, inclusivos, jerárquicos, dependiendo del tipo de interacción que desarrollan con el medio. El medio significa aquí otros sistemas, mejor dicho, el nivel en el que están organizados. La determinación de este nivel depende de la escala o la distancia desde la que observemos el fenómeno: para las células, el medio inmediato es el tejido; para los tejidos son los órganos; para estos últimos, el organismo; para los organismos individuales, su comunidad reproductiva; para una especie, el ecosistema. Una línea paralela se puede trazar a través de la sociedad: para las familias, el medio es la comunidad y así sucesivamente. Una vez elegida la escala, los sistemas aparecerán como ordenados “jerárquicamente”, y es el concepto de niveles de integración el que funge como la *configuración mediadora*.

El mecanismo de variación/selección es un mecanismo buscador de pautas, que tarde o temprano conduce a la creación de un nivel de interacción inédito, al que calificamos de emergente. La novedad evolutiva surge cuando los sistemas integran un nivel “superior”: las sustancias que reaccionan para producir un compuesto nuevo, las células que se integran en un organismo, los individuos que forman un grupo, las comunidades que se organizan en un sistema social, son ejemplos de cómo se integran los niveles de complejidad creciente a partir de la dinámica energética. Las características de un compuesto nuevo no se deducen de los elementos en interacción, la fisiología de un organismo no se deduce de su genoma, las relaciones entre las personas no determinan lo social: el sistema es algo más que la suma de sus partes.

El mecanismo al que obedece la evolución (el de combinación/auto-organización) fue formulado por primera vez en el lenguaje de las ciencias naturales por Darwin (como el de variación/selección). En la actualidad es posible describir dicho mecanismo en los términos más generales e inclusivos de la termodinámica (véase Lotka, Hamilton, Prigogine, Georgescu-Roegen, Bateson, Adams). Tal rodeo epistemológico es necesario para aplicar las ideas evolucionistas en las ciencias duras y en las ciencias sociales. La evolución es el proceso de expansión/contracción energética en el que participan los sistemas termodinámicamente no aislados con capacidad de reproducirse. Así como la variación suministra la materia prima a la selección, la *combinación* es la que proporciona la materia prima a la complejidad (véase la definición de la evolución de Georgescu-Roegen más abajo). La complejidad como una tendencia o propensión de los procesos energéticos hacia la complejidad ontológica es la faceta creativa de la evolución. La evolución, sin embargo, también tiene su faceta destructiva.

Para comprender la complejidad y conciliar sus múltiples paradojas necesitamos el concepto de niveles de integración. El concepto de *niveles* pasó de la biología a la antropología gracias a los trabajos de Julian Steward en ecología cultural¹⁴. El término se refiere a la clasificación de los procesos naturales de expansión y su origen está en la diferenciación binaria de los acontecimientos, en esa íntima relación entre el hecho y su interpretación. Bateson (1993: 245) entiende los niveles como *tipos lógicos*: la clase es un tipo lógico superior al de los miembros que la integran. Por ejemplo, la especie es de tipo superior al de las comunidades reproductivas que la conforman; el grupo social es de tipo superior al de los individuos que lo componen. Y así sucesivamente: no hay concepto

► 49

¹⁴ Con *niveles* Steward se refería, exclusivamente, a la secuencia evolutiva social —de familia, tribu y Estado—, concebida como un patrón útil para ordenar los datos etnográficos (1954). Distintos autores han adaptado esa secuencia a sus propios fines (véase Service, Sahlin y Fried, cit. en Adams, 1983) y han conjeturado sobre la evolución de sociedades igualitarias, jerarquizadas y estratificadas. Los niveles indican el grado de complejidad sociocultural. Adams (1983) observa que ninguno de los autores mencionados identificó la dinámica común que subyace a los niveles y que es, precisamente, la de los flujos energéticos.

que agote una sola clase o se defina por sí mismo. En cuanto a la sociedad, afirma Steward, “en el continuo de crecimiento de toda cultura hay una sucesión de tipos de organización, los cuales no sólo son cada vez más complejos sino que presentan nuevas formas que surgen” (1954: 51).

Hablamos de *complejidad* cuando están en juego varios niveles de integración dispuestos jerárquicamente, mejor dicho, dispuestos de acuerdo con la intensidad de los intercambios energéticos entre los sistemas que los componen. El más complejo es el más acelerado (véase la nota 3, p. 43). La disposición jerárquica no se refiere aquí a algún valor intrínseco, sino a la *escala* que impone nuestro instrumento de análisis. El parámetro objetivo es la tasa de consumo. Un ejemplo de esto puede ser el consumo energético medido *per capita* (White, 1964). Así, el consumo de un individuo humano es de alrededor de dos kilocalorías por día, pero el metabolismo energético exosomático de este mismo individuo como miembro de un grupo familiar se multiplica por cientos de unidades si tomamos en cuenta los servicios de los que dispone la casa en que vive; y si pasamos al nivel de grupo más amplio, la misma persona (por ejemplo, un estudiante de la universidad) tiene acceso a insumos que alcanzan cantidades astronómicas si consideramos tan sólo la información que reúne la biblioteca.

Como clasificaciones, los niveles son construcciones mentales elaboradas por los miembros de la sociedad o por un observador externo. La investigación, de hecho, consiste en ver qué tanto coinciden las metáforas mentales de un sistema de clasificación nativo con el del investigador. La mente humana tiene esa peculiar capacidad de distinguir porciones de la realidad (sistemas) y clasificarlos en tipos lógicos (niveles). Toda clasificación es irremediabilmente arbitraria. En particular tenemos que estar conscientes de que una visión estratigráfica de la realidad se tiende trampas a sí misma¹⁵. Sucede que la men-

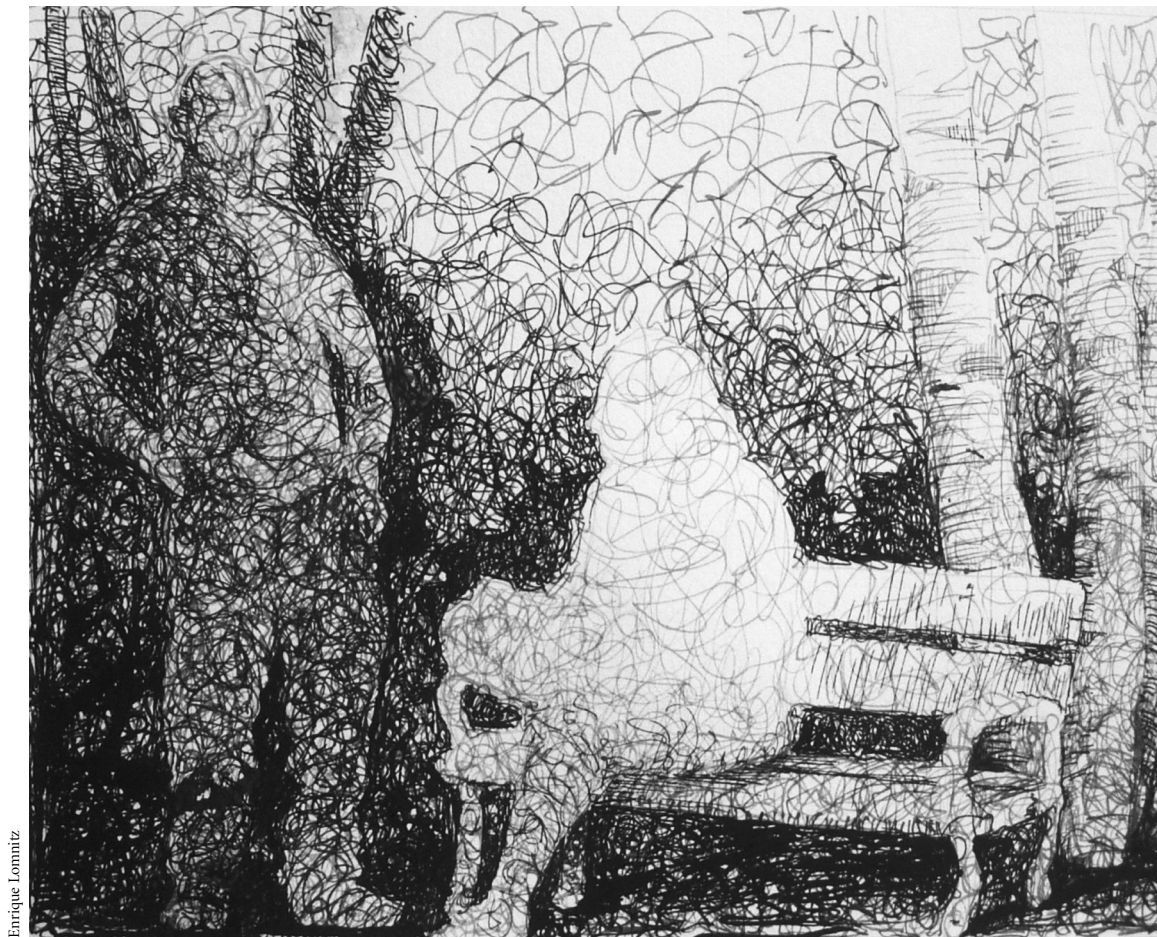
te humana está limitada en cuanto al número de dimensiones taxonómicas que puede emplear, de modo que, a pesar de los aumentos demostrables de complejidad y de la posibilidad de incrementar los niveles casi indefinidamente, la mente tiene que “reducirlos” y clasificar los sucesos en unos cuantos tipos. La manera en que los *niveles de integración* sustituyen a los *niveles de articulación*¹⁶ es un procedimiento simplificador y el resultado generalmente se reduce a un máximo de seis o siete. Como se ha dicho, para que la mente humana pueda manejar la complejidad tiene que sujetarla a su medida y tamaño. “Así pues, mientras que las sociedades se vuelven crecientemente complejas en términos de sus estructuras energéticas, las dimensiones de su organización social se reintegran constantemente a las dimensiones estructurales mentales que son comprensibles para la mente humana” (Adams, 1983: 305-306). La complejidad *como* clasificación es, paradójicamente, una simplificación de la complejidad efectiva del mundo. La complejidad no es producto de agregar elementos, sino de una deconstrucción y reconstrucción de estos elementos (García, 1986: 64) en el siguiente nivel de integración. El aumento en la complejidad no consiste simplemente en la suma de elementos nuevos, sino en la reintegración de los elementos en las estructuras mentales ya existentes. No hay que olvidar que todo sistema tiene por definición su estructura (la “mente” de Bateson), de modo que la información no es sólo atribución de sistemas humanos, sino que circula entre todos los niveles de la realidad. ¿O no es así?

Con esto hemos arribado a un problema epistemológico mayúsculo que asoma en las conceptualizaciones

que están debajo y sustenta a los que están arriba (Geertz, 1987 [1973]: 46). Según el autor, necesitamos una concepción sintética, es decir, una concepción en la cual los factores físicos, biológicos, psicológicos, sociológicos, económicos y culturales “pueden tratarse como variables dentro de sistemas unitarios de análisis” (1987 [1973]: 51). Es lo que propone la teoría de la complejidad. El autor opta por la teoría de sistemas y define la cultura como un mecanismo de control, pero abandonará estos desarrollos en su etapa posmodernista.

¹⁶ La diferencia o, más bien, la relación que existe entre los *niveles de articulación* y los *niveles de integración* es la misma que hay entre: a) la descripción de los sucesos y b) la conceptualización de los mismos. Es la diferencia entre: a) lo “etnográfico” y b) lo “etnológico”; entre: a) la descripción de un caso particular y b) un sistema conceptual que debe explicar este caso y otros más.

¹⁵ Clifford Geertz describe la división de trabajo entre las ciencias como resultado de la concepción “estratigráfica” de la realidad. Los factores biológicos, psicológicos, sociales y culturales están dispuestos como si fueran pisos de una pirámide. Según esta visión, el hombre es un compuesto de varios “niveles”, cada uno de los cuales se superpone a los



Enrique Lomnitz

del caos, el orden y la complejidad, un problema que hace vacilar la base misma del conocimiento humano. Formulémoslo así: ¿es la complejidad característica propia de algunas cosas del universo o lo es tan sólo de nuestros modelos explicativos? ¿Son las paradojas de la complejidad una propiedad de la naturaleza o tan sólo resultados de nuestro método de indagación? En qué sentido nuestros sistemas teóricos pueden ser confirmados o refutados por la experiencia, pregunta Rolando García (1986), si la misma experiencia está cargada de teoría. Me pregunto si alguien tiene una respuesta a estas interrogantes, alguna respuesta que pueda convencer, si no a todos, al menos a quienes se plantean estos problemas con circunspección. A continuación ensayaré una posible respuesta desde la

epistemología evolucionista. Distinguiré, en primer lugar, entre la complejidad como propiedad de nuestros modelos explicativos y la complejidad como propiedad de la naturaleza. Consideraré que ambos evolucionaron en una especie de reciprocidad. El conocimiento evoluciona como parte *sine qua non* de nuestra realidad, hasta el punto de ser capaz de incidir en ella y modificarla. Cultura es el nombre de un nuevo género de complejidad que proporciona el ambiente para la perpetuación y la reorganización de un tipo particular de sistemas disipativos: los sociales. La evolución —multilineal por derecho propio— consiste en la búsqueda de pautas. Su método es el de ensayo y eliminación del error: variación y selección, combinación y auto-organización, deconstrucción e

integración, contracción y expansión. Especialmente en el nivel social se ensaya mucho. La diferencia con otros niveles es que la cultura (la capacidad de procesar la información mediante símbolos) permite incluir, como resultado de los ensayos-simulaciones, formas energéticas nuevas que aceleran la velocidad de los intercambios. La producción del desorden en el medio es directamente proporcional a la intensidad de los intercambios energéticos que conforman dicho medio.

LA COMPLEJIDAD COMO PROPIEDAD DEL MODELO EXPLICATIVO

El concepto de complejidad pertenece a un modelo (conjunto de conceptos ensamblados de manera coherente). El modelo pertenece a un discurso y los discursos tienen su respectivo código más un contexto comunicativo. ¿Cuál es, entonces, el referente de la idea de complejidad, esto es, su contexto de significados compartidos? Es la visión del mundo sustentada por una determinada racionalidad —de entre las que están a disposición—, llamémosla científica. El cambio en la *weltanschauung* mencionado en la introducción se refiere al estatus ontológico del azar. En la ciencia contemporánea está muy aceptado, aunque no sin cierta reticencia, que el azar es un factor que opera en todos los niveles de la realidad, desde el más elemental, el de la materia de partículas indivisibles, hasta el más enmarañado, el de los sistemas autorreplicantes. De una agitación primigenia aleatoria, cuyo nombre es Caos, eventualmente emerge el orden y sus necesidades, que son los atributos de Cosmos. En virtud del comportamiento estocástico del complejo de energía-materiales-e-información surge el orden. El orden gratuito “a partir de las fluctuaciones” (Prigogine *et al.*, 1977). Estamos frente a la paradoja de la irreversibilidad, la madre de todas las paradojas¹⁷.

El postulado de irreversibilidad es la base del modelo de sistemas. Los procesos termodinámicos, ya sean aislados o no aislados, cerrados o abiertos (véase la nota 10, p. 47), inertes o interactivos, todos ellos son irreversibles, asimétricos en relación con el tiempo. No es posible regresar al pasado. La probabilidad de que se repita un estado pasado es nula en la práctica. Aun cuando la segunda ley fuera sólo una cuestión meramente estadística, tampoco podría revertirse ningún proceso energético. Esto se debe, en primer lugar, a la intervención del azar. En la práctica, adivinar cada uno de los accidentes que intervinieron en el pasado en la configuración de un sistema cualquiera costaría una cantidad de energía inimaginable, tal vez infinita. En segundo lugar, un sistema complejo tiene historia o, como se dice en física, histéresis: los patrones evolutivos formados en el pasado limitan el número de posibles estados futuros; en algunos aspectos los determinan, en otros no. Max Planck (1978) propuso que la característica de “irreversibilidad” fuera considerada como sinónimo de “natural”, en el sentido de espontáneo, que se produce por sí mismo y nunca regresa a su estado anterior. No hay péndulos sin fricción. No hay auto-organización sin desestructuración. En todo suceso se pierde una parte de energía que no es recuperable por ningún medio: “El palo dado ni Dios lo quita”. De ahí la dirección única del tiempo y la impronta de la originalidad en toda la configuración nueva.

Si bien la producción de la entropía se da en todos los procesos, sean ordenados o no —y a la postre podría resultar un asunto más bien trivial—, lo interesante es cómo se produce. En los procesos aislados se da por inercia, mientras que en los no aislados, que son los procesos que disipan la energía para sobrevivir, se da por interacción con el medio. Es importante advertir que nosotros

¹⁷ La paradoja de la irreversibilidad quiere decir que lo que es azaroso en el nivel elemental da lugar al comportamiento coordinado en un nivel superior de organización, aunque no se sepa cuál es exactamente la interfaz de ese cambio: “¿Cómo conciliar el hecho de que los sistemas macroscópicos sean irreversibles, al mismo tiempo que los microscó-

picos son reversibles? La investigación de la realidad subatómica no se refiere al tiempo y al espacio que vivimos en la realidad ordinaria. No puede haber ningún estado de equilibrio en el mundo descrito por la mecánica (la newtoniana, la relativista o la cuántica). Con una sola excepción —la de la segunda ley de la termodinámica—, las leyes fundamentales de la física son simétricas en el tiempo (todos los instantes son equivalentes) y no distinguen ningún estado final especial donde se haya gastado todo el potencial de cambio” (Coveney y Highfield, 1993, I: 218).

también podemos ser calificados como un caso particular de sistema disipativo. Nuestro cuerpo disipa calor, la comunidad en que vivimos disipa calor, la sociedad “en que estamos, nos movemos y somos” disipa calor. Y eso tiene consecuencias, no es nuestra imaginación.

¿Cómo entender que fenómenos aleatorios que surgen del caos y cuyo principal producto es la entropía puedan dar lugar al orden, la complejidad y la evolución? La instancia mediadora, por decirlo así, la que se encarga de ordenar el mundo discordante es la selección natural. El término *selección natural* es una “descripción densa” de *procesos de auto-organización* en los que se ensamblan, se perpetúan, se reproducen y se propagan las formas energéticas, unas a costa de otras. La evolución es una sola en el sentido en que puede ser *simultáneamente* fenómeno físico, orgánico, social. No es que primero tenemos los sistemas físicos, luego los organismos, los individuos y después las sociedades, sino que los tres polos del proceso definen en conjunto la evolución. La evolución es una serie de experimentos en marcha. Sus configuraciones azarosas, variadas y repetitivas se dan en cantidades “masivamente paralelas”. Permanecen las adecuadas en un tiempo y un lugar determinados, no las que se ajustan a un ideal de la perfección o un plan preexistente¹⁸.

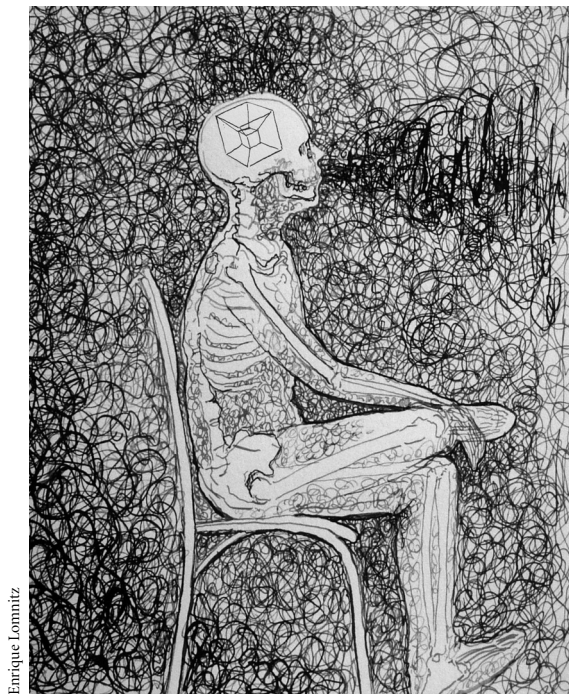
En los procesos de auto-organización la experiencia se acumula en la memoria del sistema. Dependiendo de la clase de sistema, *v. gr.*, del nivel en que se sitúa nuestro análisis, tenemos la memoria fisicoquímica, fisiológica, conductual, ecosistémica, económica, social, cultural... El almacenamiento de información es condición para aplicar mecanismos de realimentación. La autoimagen o el estado ideal que guarda la memoria es una especie

de mapa del sistema al que se ajustará en lo posible la trayectoria real. Al aprender la tarea el sistema guarda la información en la estructura o “el inconsciente de la organización” para que ya no esté expuesta a más experimentación, argumentan Margulis y Sagan (1996). De ahí en adelante, la tarea es ejecutada de manera automática, por medio de controles cibernéticos, esto es, formas energéticas especializadas en el manejo de la información y en la comunicación.

Cuanto más complejo es un sistema (conjunto coherente de formas energéticas), más procesadores de información maneja, porque más flujos energéticos tiene que integrar y más intercambios tendrá con otros sistemas. Éste es precisamente el aspecto que la ciencia de la complejidad trata de desenmarañar. En el nivel de sistemas fisicoquímicos el algoritmo que describe la función del sistema (de una reacción autocatalítica, por ejemplo) se elabora en términos matemáticos. Lo que impresiona en estos casos es que con una sola fórmula basta para describir exhaustivamente el sistema. En el nivel de sistemas orgánicos, sin embargo, eso ya no es posible del todo y se tiene que recurrir a fórmulas tales como los diagramas de flujo, la cadena trófica, el análisis de ingreso-egreso y otras, en las que la precisión matemática disminuye a expensas de la descripción verbal en la medida en que se tiene que abarcar más y más aspectos. En el nivel de los sistemas sociales hay estructuras, códigos y procesadores de información, tales como el parentesco, la organización social, la política, la economía, la religión, el sentido común, la poesía y las artes, que no son sino mapas mentales de una realidad complicada, aparte de compleja. Las así llamadas genéricamente “ciencias sociales y humanidades” son los *loci* en los que está depositada la información que pueda manipular la mente humana para ensamblar formas energéticas novedosas y lanzarlas luego como posibles unidades operativas o vehículos de supervivencia. Una interacción tan compleja como la que se da entre la sociedad y su entorno, entre las sociedades y entre las sociedades de sociedades no se puede lograr siguiendo un sólo código.

En física se entiende que la energía y la masa son equivalentes, pero faltaría integrar —como observa Jorge Wagensberg (1985)— el tercer elemento, que es la informa-

¹⁸ Jean Baptista Lamarck postulaba un ideal de perfección al que debería seguir la transformación de las especies; la selección darwiniana, en cambio, no reivindica ninguna causa más allá del proceso mismo. El prefijo *auto* incorporado a todos los términos que implican organización podría parecer un exceso, pero su uso obedece a la necesidad de deslindarse del sentido común y de la creencia de que la organización supone un plan preconcebido. El concepto de *auto-organización* es una alternativa al omnipresente pensamiento finalista. La evolución darwiniana es una serie de realimentaciones en el proceso energético de expansión/contracción; un patrón que se va haciendo por sus propios medios, no una ley general de la naturaleza.



Enrique Lomnitz

ción. Su importancia consiste en que la única vía de acceso a la realidad es a través de las metáforas (teorías, modelos, mapas mentales, códigos informáticos). ¿Alguien tiene el acceso directo a la realidad en sí? ¿Alguien puede describir literalmente lo que sucede sin recurrir a las metáforas y los conceptos? Ahora bien, hay de metáforas a metáforas. Las que aquí interesan son las científicas, aunque las otras, incluso las meramente ornamentales, son importantes, en especial cuando forman parte de estructuras socialmente eficaces. La diferencia entre las metáforas de licencia poética y las metáforas como modelos científicos consiste en que estos últimos tienen incorporado un mecanismo de control. Es un mecanismo que permite evitar cierto tipo de errores —si bien no todos— e implementar una “hoja de ruta” a modo de algoritmo.

Un ejemplo —algo burdo— de cómo opera un modelo como metáfora del sistema podría ser el cohete “inteligente” que se usa en los bombardeos “quirúrgicos” en las guerras que promueve el imperio y que luego exhibe por televisión. Un cohete de este tipo lleva a bordo un mapa de la trayectoria preprogramada y unos sensores

que recogen la información a lo largo de su trayectoria real. El ordenador —nunca mejor dicho— compara la información obtenida por los sensores con el mapa e implementa el *feedback* cuando hace falta corregir la trayectoria. Sirva el ejemplo para ilustrar lo siguiente. Un sistema disipativo cuenta con una autoimagen, una metáfora de sí mismo, que es parte del conjunto de mecanismos de regulación a partir de los cuales busca abrirse camino en el mundo. Cuando hablamos de la información no tenemos por qué pensar que ésta es solamente propiedad de los sistemas vivos ni mucho menos exclusiva de la mente humana. Todos los sistemas disipativos procesan energía e información. En palabras de Bateson (1993), el sistema opera a partir de su mente en el sentido de un conjunto de mecanismos de realimentación. El autor titula su libro *Mind and Nature: The Necessary Unity*. La unidad necesaria se da aquí entre la información y el flujo energético que la transporta, entre la “forma” y la “materia” en el hilemorfismo aristotélico. La *investigación*, entonces, consiste en averiguar qué pasa en la mente de otros sistemas y eso lo conseguimos construyendo nuestro propio modelo de dicho sistema. El segundo paso consiste en recoger los datos y compararlos con el modelo prefabricado. Así como no tenemos acceso a la realidad en sí, tampoco podemos tener acceso directamente a los modelos mentales de otros sistemas, de las personas, de las culturas. La manera de tener acceso a cualquiera de estas realidades consiste en construir un modelo de las mismas y verificar su pertinencia, como ocurre, por ejemplo, con los modelos simulados por computadora.

La ciencia de lo complejo no necesita ocultar que sus modelos son improvisaciones y artificios en el sentido de elaboraciones previas a la observación. Si no se puede observar directamente qué pasa en otra mente, en otro sistema, tampoco es posible observar un sistema como una totalidad en todos sus detalles. Nadie tiene el punto de vista divino, inmortal e intrínseco. Ningún sistema está dado (García, 1986: 46) de manera natural, sino que es un constructo con fines de investigación, explicación u otros por especificar. El paradigma de la complejidad es el que dispone los elementos en la producción de *modelos*. Un modelo consta de dos cosas: 1) elementos teóricos y 2) datos de la experiencia. Se trata de un entramado en

el que la experiencia sería imposible sin presupuestos elaborados de antemano, y estos serían inverosímiles si no se estuvieran fogueando en cada puesta a prueba¹⁹. Los modelos epistemológicos de este tipo no aspiran a buscar verdades absolutas, ni “leyes” de la naturaleza universales y atemporales. *Verum factum est*, como lo dijo Giambattista Vico. En la naturaleza nada es para siempre y las mismas leyes son producto de la evolución. El concepto de “ley natural” es un préstamo que la física ha hecho directamente de la organización social; es una metáfora que, ahora ya lo sabemos, resulta demasiado pobre. La metáfora que viene al rescate es la de la complejidad: la del sistema y su autoimagen, la de la naturaleza y su “mente”, la del hecho y su interpretación, la de la información y el flujo energético que la sostiene. Es la metáfora incorporada a la realidad.

Si no hay hecho sin teoría tampoco puede haber teoría sin empiria. Como quien dice, no hay cosa más práctica que una buena teoría. El modelo, el mapa, no es el territorio, pero tampoco es imaginable un territorio sin el mapa. Entre el mapa y el territorio hay una causalidad recíproca. Si bien el uso de modelos en la ciencia es un procedimiento metodológico normal, en el evolucionismo fue elevado al estatus epistemológico (Giere, 1999).

Un ejemplo de esto es el modelo de la selección natural. Charles Darwin la definió como “el conjunto de leyes que actúan a nuestro alrededor” (1980 [1859]: 489). Con esto trató de ajustarse al modelo mecanicista en boga de

aquel entonces. Según este modelo las cosas están sujetas a las fuerzas; la realidad consiste en una serie de interacciones mecánicas reversibles y la ciencia las describe fielmente. El conocimiento consiste en descubrir principios abstractos a partir de la observación. Darwin se muestra muy convencido de que descubrió el principio de la selección por deducción, abstrayéndolo de la realidad por medio de la investigación. Creía en el esquema positivista y estaba convencido de que la selección natural era un asunto de causas próximas. Y murió en el error. En su autobiografía escrita con fines didácticos, Darwin confiesa que la idea de la selección se le ocurrió a partir de la lectura de la obra de Malthus (*Ensayo sobre la población*); esto es, la postuló antes de investigar cualquier cosa. Las variaciones en los sistemas adaptativos son hechos comprobables, el postulado de selección, una inherencia teórica. Antes de Darwin la variación no tenía importancia, no fue más que una imperfecta manifestación de la esencia inmutable de las especies. He aquí un ejemplo de cómo los hechos se perciben sólo si se enfocan desde una conjetura teórica previamente construida.

Al modelo de *variación/selección* se agregaron después otros elementos —básicamente la genética mendeliana y la biología molecular— para producir la “teoría sintética” de la evolución. Pero hay algo más. En nuestros tiempos la teoría de la evolución se está revisando a la luz de la termodinámica. Desde esta perspectiva son las formas energéticas las que evolucionan mediante el mecanismo de combinación/auto-organización. Al traducir la gran idea de Darwin al lenguaje de la teoría de sistemas con la termodinámica en el trasfondo es posible construir un modelo inclusivo de la evolución, el cual permite tomar en cuenta aspectos físicos, biológicos y sociales al mismo tiempo. Es el modelo de *sistema disipativo*, un concepto aplicable a los procesos cósmicos, biológicos, sociales, cognoscitivos (Chaisson, 2001).

En resumen, obtenemos explicación cuando los datos se ajustan a un modelo previamente formulado (Adams, 1982). Un buen modelo proporciona el conocimiento significativo, aunque siempre parcial. No hay teoría ni modelo que abarquen todos los aspectos de un solo acontecimiento. Un modelo de investigación debe formular una hipótesis con valor heurístico en términos falsables

¹⁹ Kant identificó varios de estos presupuestos sin los cuales la experiencia sería imposible: el tiempo, el espacio, la causalidad y la permanencia, un conjunto de categorías que atribuimos a la “naturaleza”, pero que antes que nada forman parte de nuestro equipaje mental. Un problema interesante es cómo se forman estas categorías en la mente humana. La genética piagetiana investigó y comprobó empíricamente que las formas de la percepción se generan (de ahí los términos “psicogénesis” o “genética” que identifican este enfoque) en las etapas tempranas de la vida y proporcionan esquemas conceptuales que van a servir en los siguientes niveles cognoscitivos como presupuestos que ya no se cuestionan más adelante (García, 1986). Las categorías *a priori* no surgen de la nada ni hemos nacido con ellas como si fueran un legado del mundo platónico de ideas. Se construyen como mapas cada vez más precisos de un territorio en expansión. Si bien estos conceptos se postulan innatos, su origen está escondido en las profundidades de la evolución del conocimiento humano. Aun cuando hemos nacido con ellos, deberíamos buscar su origen en la evolución de nuestro aparato de percepción en cuanto especie y en el de las especies que nos precedieron temporal y estructuralmente.

(Popper). Este modelo trata de averiguar qué es lo que ocurre en la mente de otro sistema. Una vez acertado puede interactuar con él: “Sólo lo imaginario es real”, como lo dijo Einstein.

LA COMPLEJIDAD COMO PROPIEDAD DE LA NATURALEZA

No hay tal. Nada podemos decir de la “cosa en sí”, como lo demostró Kant en su crítica de la razón. Naturaleza ha muerto, se ha dicho, y nosotros estamos velándola, o lo que quedó de ella²⁰. Cuando se dice *naturaleza* suele pensarse en hechos físicos crudos, en la *madre natura*, en los ecosistemas no intervenidos, en el estado prístino de la sociedad primitiva. Sin embargo, no hay naturaleza sin cultura. No hay hechos objetivos o neutrales fuera de toda interpretación. En nuestra percepción no hay ningún observable sin insumo teórico previo. El principio de la epistemología evolucionista es: *toda experiencia está cargada de teoría* (García, 1986: 46). ¿Cómo es, entonces, que se descubren cosas nuevas? La respuesta es: postulándolas y validándolas luego empíricamente²¹. Los modelos explicativos, como ya se ha dicho, están compuestos por dos elementos: ideas preconcebidas y hechos de la experiencia, esquemas conceptuales y programas de acción, niveles de integración y niveles de articulación. Esta oposición al interior de los fenómenos entre la “mente” y el sistema se remonta a la estructura profunda de la realidad. La pregunta de cómo se descubren cosas nuevas es en rea-

lidad también la de cómo surgen las cosas nuevas en el mundo. Aquí interviene el principio de complementariedad²². El aspecto “mentalístico” —término preferido por Richard Adams— es propio de todo sistema concreto. No hay “materia” sin “forma”, no hay sistema sin información. La metáfora que utilizaré de aquí en adelante es la dicotomía mapa/territorio. Me apresuro a explicarla.

Los sistemas evolucionan (se construyen a sí mismos) utilizando elementos de su autoimagen (el mapa) para adaptarse, esto es, modificarse a sí mismos y modificar su entorno (el territorio), para luego elaborar mejores mapas y moldear más territorios, y así sucesivamente²³. Sucede también que los mapas se trazan a distintas escalas sobre territorios de topografía múltiple. Los territorios modificados por incidencia de los mapas son ejemplo de la causalidad recíproca, la de los sistemas complejos. Las categorías kantianas elementales de tiempo, espacio, causalidad y permanencia son las coordenadas básicas de estos sistemas o mapas/territorios.

El constructivismo²⁴ no postula una verdad definitiva,

²⁰ “Dios ha muerto, la naturaleza ha muerto y yo tampoco me siento muy bien que digamos”, dijo, a propósito, Woody Allen.

²¹ ¿No crea esta autorreferencia un problema de círculo vicioso? Si no hay “observables puros” y todos los hechos están “cargados de teoría”, en qué sentido podemos afirmar que las teorías científicas son confirmadas o refutadas por la experiencia, se pregunta Rolando García (1986: 50). Y responde: La concepción de *niveles de conocimiento* que se van desarrollando a través de procesos constructivos permite eludir el círculo vicioso. La psicología genética aborda el problema de cómo se crean esquemas conceptuales por niveles. El infante construye primero esquemas de acción para luego crear esquemas conceptuales. Equipado con estos, pasa al siguiente nivel en el que puede interpretar experiencias antes ininteligibles tomando como insumo los conceptos elaborados previamente, los que aparecen en este nivel como si existieran *a priori*, de modo que ni se cuestionan. Véase también García, 2006.

²² Dogma epistemológico propuesto por Niels Bohr: “Sólo la totalidad de los fenómenos agota la posible información sobre los objetos.” Por ejemplo, en física, las dos teorías sobre la naturaleza de la energía —la de la energía como fenómeno corpuscular y la de onda— son mutuamente excluyentes, pero deben aceptarse conjuntamente. Así también la mecánica cuántica y la termodinámica se contradicen: en el mundo micro no hay irreversibilidad; en el mundo macro surge la “flecha del tiempo”. Complementariedad se refiere a que la evolución no produce una “síntesis superior” al estilo hegeliano. Produce caos y un poco de orden.

²³ Un buen ejemplo de esto es la relación entre el genotipo y el fenotipo. El genotipo no contiene toda la información sobre el organismo y menos sobre el medio. El ADN contiene instrucciones precisas para ensamblar las proteínas del citoplasma. Una vez constituidas las células, se forman los tejidos, los órganos, los aparatos, los organismos, las comunidades, los ecosistemas, etcétera. Estos sistemas se someten a la selección como vehículos de supervivencia que son. La información adquirida por el fenotipo (*sistema*) regresa al genotipo (*mapa*) por vía indirecta, la de la mutación (*combinación*) sometida a la selección (*auto-organización*). Son millones de años de interacción con reglas del juego estocástico.

²⁴ El constructivismo, una doctrina filosófica desarrollada en el siglo XX, resalta la idea de que la ciencia es una elaboración de seres humanos en sociedad. En su versión extrema, el “constructivismo social” tiende a reducirlo todo a la influencia de lo social, pero eso sería repetir el mismo error del “darwinismo social”. Según esto, la evolución es progreso y la verdad sólo es la nuestra, la de los sobrevivientes en una despiadada lucha por la existencia. Karl Popper describió esta manera de pensar como “la miseria del historicismo” y la asoció, sin más, con la “tautología del darwinismo”. El propio Popper, sin embargo, cam-

eterna e insuperable. Una verdad absoluta, a la que la mente se adecua sin más, es el postulado del esencialismo. ¿Hay una esencia inmutable en la naturaleza misma, la naturaleza humana o la sociedad? Tal vez en un mundo platónico —en el de las eternidades— haya objetos que no necesitan disipar energía para subsistir, pero nosotros estamos aquí, en un mundo en que todo se construye a contracorriente del tiempo. El conocimiento se elabora en un proceso de intercambio de información que implica no sólo a los seres humanos, sino también a otros medios de procesamiento de información, a sus códigos y a los sistemas que los emplean: la información es propiedad de los flujos energéticos que interactúan entre sí. La *complejidad* resultante se debe a la interconexión entre los procesos energéticos de distintos niveles: físico, químico, biológico, económico, social, cognitivo, cultural y los demás por aparecer. La complejidad es el resultado de la *evolución*: “del cambio cualitativo provocado por la aparición de la novedad por combinación y por la actuación unidireccional de la ley de entropía” (Georgescu-Roegen, 1996: 395). La definición darwiniana de la evolución (el “éxito reproductivo diferencial”, según Gould) implica dos niveles: el individual y el de la especie. Pero hay otros niveles, como el de la comunidad reproductiva, el de la sociedad, el de la sociedad de sociedades. La definición de Georgescu-Roegen tiene la misma estructura que la darwiniana (aparición de la novedad evolutiva mediante el mecanismo de variación/auto-organización), pero está formulada en términos más inclusivos ya que abarca procesos de distintos niveles. El denominador común de los procesos evolutivos es la expansión/contracción energética.

El argumento que expongo aquí es que la complejidad, siendo propiedad de nuestros modelos interpretativos, de alguna manera coincide con la realidad misma porque los dos —tanto la realidad como sus modelos— evolucionan juntos compartiendo una estructura básica. El conocimiento representa una posibilidad de participación

en la construcción de la realidad, constituye una “nueva alianza” con la naturaleza, según la expresión de Prigogine. Las sutilezas cognitivas de la ciencia y la tecnología pueden llegar a ser suficientemente precisas como para integrarse a la realidad y crear mundos nuevos, claro está, habiendo energía e información suficiente para ello.

La naturaleza no parece tener costuras²⁵, pero nuestros conocimientos sí las tienen. El paradigma de la complejidad propone articular nuestros saberes. Observamos la naturaleza fragmentada, ordenada y caótica a la vez, porque nuestro aparato cognitivo es un sistema discursivo clasificatorio, dependiente del tiempo y el espacio. Nuestras mentes surgieron en el proceso de evolución. El desarrollo más reciente fue el de un *sistema de inferencia*, la capacidad que hace posible el aprendizaje (Boyer, 2001). Nuestro equipamiento mental permite *el aprendizaje como un reordenamiento de lo real*. El conocimiento es acción. Aunque las clasificaciones mentales sean arbitrarias, hay algo en ellas que las articula con la realidad²⁶. Los conceptos científicos pueden ser asombrosamente eficaces a la hora de describir la naturaleza. Frente a esta eficacia las ciencias sociales tienen un terrible complejo de inferioridad, pero ¿qué es lo que impide lograrla en el ámbito de las humanidades?

Un modo de sobrellevar el embrollo epistemológico al que aludo es admitir nuestros *pre*-juicios de la manera más consciente posible. Sobre advertencia no hay engaño. Las cuestiones de fondo no se pueden confirmar o negar con base empírica: se toman o se dejan. ¿En función de qué? En función, tal vez, de otros prejuicios más arraigados o, tal vez, en función de la mera supervivencia. La cuestión es que tanto los sistemas naturales ya conocidos como los imaginados están mediados por el tiempo, el espacio y los recursos: todos somos sistemas disipativos sometidos a la tiranía de la segunda ley. Si fuéramos dioses tendríamos conocimiento directo y objetivo, pero como somos lo que somos (sistemas disipativos

bió de opinión en relación con la teoría darwiniana cuando admitió que es posible convertir la idea de la selección en una hipótesis verificable al estilo falsacionista y utilizarla en la investigación empírica (véase Ruiz y Ayala, 1998).

²⁵ “Tiempo, espacio e incluso naturaleza son conjuntos sin suturas” (Georgescu-Roegen 1996: 115).

²⁶ Es como si nos adentráramos cada vez un poco más en la “cosa en sí” kantiana (Hacyan, 2004: 202). “¿Qué es lo que arde en nuestras ecuaciones —se pregunta Stephen W. Hawking (1988)— que puede describir con tanta precisión los fenómenos naturales?”

interconectados) tenemos que contentarnos con un conocimiento mediado por el tiempo.

Los objetos del mundo no tienen existencia independiente de nuestra percepción: tenemos acceso a ellos sólo por medio de nuestras preconcepciones. La mente postula antes de indagar. El concepto ingenuo de una “realidad objetiva”, que ahí está esperándonos, pierde su sentido en el momento en que nos preguntamos con qué la vamos a observar. Qué es la realidad si no podemos concebirla hipotéticamente. ¿En qué sentido existe un territorio sin un mapa? “Lo que observamos no es la naturaleza misma, sino la naturaleza expuesta a nuestros métodos de cuestionamiento”, confirmó Werner Heisenberg. Las complejidades de la mente tienen una importancia ontológica en el sentido en que son mecanismos de detonación disponibles socialmente: son los *free floating trigger mechanism*, según una persuasiva expresión de Adams.

La tesis del *gestalt* contribuye a entender el asunto. Los datos de la percepción están preñados con todo tipo de ideas preconcebidas, verdades axiomáticas, creencias inconscientes, imperativos morales, ideas estéticas y arrebatos afectivos, todo lo cual llamamos “valores”. Agreguemos a esto los hábitos, las predisposiciones, las aversiones y las preferencias: este conjunto de convicciones que nos hace humanos. Es necesario creer en algo, aunque sean axiomas. Todas estas sutilezas del aparato cognoscitivo deben aceptarse con serenidad, a sabiendas de que son complementos de alguna totalidad, esto es, de ese trozo de la realidad que llamaremos sistema. El sistema como una forma compuesta por energía e información, se torna un *gestalt* preñado de sentido.

Un modelo de investigación consta, entonces, de ideas premeditadas, concebidas ocasionalmente al azar, por una parte, y de hechos obtenidos por medio de la experiencia, por otra. La experiencia nos suministra datos de un mundo multiforme, irregular, en algunos aspectos predecible, en otros azaroso. La teoría transforma estos datos en observables y los vuelve inteligibles. Es la cultura en su conjunto la que les confiere el sentido (Varela, 2005).

El postulado epistemológico del constructivismo permite elaborar una analogía viviente en el sentido de una metáfora que se autoconstruye como un proceso cogni-

tivo que toma elementos de la naturaleza y la cultura, que interactúan de manera estocástica. El núcleo de esta propuesta es el procesamiento de la información mediante mecanismos de *feedback*. La naturaleza se organiza (evoluciona) como un conjunto de procesos disipativos, en parte predeterminados y en parte imprevisibles, en parte ordenados y en parte caóticos, en parte azarosos y en parte necesarios. Un proceso estocástico es “una secuencia de sucesos que combina el componente aleatorio con un proceso selectivo” (Bateson, 1993: 242). Los sistemas disipativos producen simultáneamente entropía e información, disipación y trabajo, caos y orden. La energía disipada sólo se puede compensar temporal y localmente. Los sistemas disipativos ordenados manejan la información: se vuelven “sociables” y entablan relaciones creando formas complejas y niveles de interacción cada vez más barrocos, intrincados y arriesgados.

Es interesante observar cómo la física contemporánea asimila la hipótesis darwiniana y la idea de la evolución (véase, por ejemplo, Chaisson, 2001). La física clásica hablaba de un mundo inmutable y grandiosamente simple. Ahora se dice que el universo que observamos es uno de los posibles en un multiverso y que las leyes naturales que conocemos evolucionan con él. La evolución se da según el esquema darwiniano si dicho esquema se traduce al lenguaje de la “selección termodinámica” (Hamilton, 1977). Con ello obtenemos una base material, a modo de una “estructura profunda” de la realidad, que es la misma para todos los procesos. Pero cada área de la evolución tiene sus particularidades. La analogía orgánica, tal como la propuso el “darwinismo social”, no es buena para los procesos sociales, porque las sociedades no se reproducen como los organismos ni las “razas” son unidades reproductivas. Tanto las sociedades como los organismos, al igual que todos los demás sistemas abiertos, siguen una dinámica energética que se resume en el principio entrópico. El aumento de entropía actúa en un solo sentido y obliga a los sistemas a programar su gasto energético de tal manera que haya un ingreso mayor al egreso. Tanto los sistemas físicos como los biológicos, así como los sociales, tienen una dinámica en común que consiste en procesar la energía de manera controlada. La palabra “control” se refiere aquí a los procesos de natu-

raleza cibernética que consisten en *triggers* informáticos. Los sistemas inducidos por el ser humano, los llamados “artificiales” (cognoscitivos, tecnológicos, económicos, sociales, culturales) no dejan de ser naturales, insisto, ya que están contruidos a partir de las mismas premisas y con los mismos materiales. Todos los seres, incluidos los humanos, somos “en un nivel profundamente abstracto” (White) formas energéticas: complejos de intercambio de energía-materiales-e-información. Al fin y al cabo por algo nos entendemos con el medio y entre nosotros mismos. Nuestros constructos encajan en el mundo porque éste también se construye y evoluciona como un conjunto de procesos energéticos.

La metáfora de *complejidad auto-organizada* permite entender cómo los seres humanos incorporan sus propios objetivos en los procesos naturales. Tal cosa es posible porque “el trabajo, la información, la organización, los insumos, las perturbaciones, la regulación, las ideas y las cosas son, todos, fenómenos energéticos” (Adams, 2001: 177) a la vez que informáticos. Los flujos energéticos siempre transportan información (para alguien) y, a la inversa, toda información necesita de soporte energético-material para transmitirse. Estas premisas permiten repensar el concepto de causalidad.

Alguna idea de causalidad hemos de sostener, aunque sea inconscientemente. Si no reflexionamos sobre este asunto seremos víctimas de preconcepciones mal elaboradas. Comúnmente se cree que el determinismo es un enfoque científico, pero que no funciona en las ciencias sociales ya que éstas tienen un objeto de estudio diferente²⁷. En las ciencias sociales se tiene la idea de que los físicos son unos deterministas. Así mismo, se piensa que la termodinámica es un enfoque reduccionista, que debería descartarse por eso mismo: es inútil en la explicación del “fenómeno humano”. El determinismo cier-

tamente puede ser una herramienta útil, pero hay que saber bien bajo qué presunciones funciona²⁸.

El origen del malentendido sobre el determinismo es un multicitado párrafo de Pierre Simon de Laplace en el que el autor expone un *gedanken experiment*. Una inteligencia que pudiera calcular todos los movimientos de las partículas estaría en condiciones de predecir los estados pasados, futuros y presentes de un sistema. Laplace, el padre de la estadística, estaba consciente de que esto era imposible, pero nadie se molesta en citar esta parte de su argumento. Se le colgó el sambenito de determinista atribuyéndole la paternidad de un modelo de causalidad mecánica, en el que todo se reduce al movimiento de las partículas sin fricción. En los libros de texto el ejemplo más socorrido es la mesa de billar. Si filmamos los choques entre las bolas y recortamos el contexto, podemos poner la película hacia delante o hacia atrás y nadie se dará cuenta hacia dónde va el tiempo. En el “determinismo laplaceano” el tiempo no importa, porque es reversible. El caos y el desorden que producen los sistemas no se toman en cuenta²⁹. Son sistemas idealizados: sin turbulencias, sin roces, sin desgaste. Todo se explica en ellos por la relación de causa y efecto en el sentido de una reciprocidad simétrica entre acción y reacción. En este modelo el único cambio es la locomoción. Son sistemas que no producen entropía, por lo tanto, no existen en el tiempo. El determinismo mecanicista, entendido como una idealización de los fenómenos naturales, desvirtúa la idea de la causalidad, de modo que no tiene sentido proponerlo como modelo de lo que realmente sucede. La “anomalía” que no puede asimilar este modelo es el azar: lo atribuye a la ignorancia, a las fallas en la observación y, en

²⁷ En las ciencias sociales persiste la opinión de que sus “principios, lógicas y métodos son radicalmente distintos de los que se usan en las ciencias naturales” (Viqueira, 2002: 387). Se distingue entre “ciencias del espíritu” y “ciencias de la naturaleza” (*ibidem*). A este respecto recomiendo la lectura de *La tercera cultura*, de John Brockman (1995), en el que varios hombres de ciencia exponen el paradigma de la evolución como una frontera del conocimiento en el que la división entre las ciencias naturales y las sociales o humanidades se esfuma.

²⁸ Por ejemplo, para programar los viajes espaciales se utilizan fórmulas de la mecánica celestial newtoniana. Los cálculos, en este caso, resultan útiles porque, a escala humana, el sistema solar es tan grande que los errores que inducen las fórmulas newtonianas son insignificantes. Si las naves espaciales viajaran a una velocidad cercana a la de la luz habría serios problemas de encontrar los cuerpos celestes en el mismo lugar en el que lo predicen las fórmulas mecánicas, como lo demuestra Einstein.

²⁹ Es aleccionadora a este respecto la historia del problema de tres cuerpos. Se suponía que el problema aparecía por culpa del observador, como resultado de unas mediciones imperfectas. Sin embargo, el problema era el determinismo, que deja de funcionar cuando hay más de dos variables en consideración.

última instancia, a la falta de presupuesto para la investigación.

Entendemos por *determinismo* la doctrina según la cual todo obedece a causas. En la ciencia moderna, sin embargo, la formulación del principio de indeterminación de Heisenberg (según el cual existe un límite de precisión indefinido en la descripción de los fenómenos, un límite que no se debe al error humano) puso en duda el determinismo mecanicista. El golpe definitivo se lo asestó la termodinámica. El principio de la irreversibilidad y de la indeterminación entrópica indican que no hay una estricta correspondencia entre acción y reacción: algo se pierde a manos de la entropía y algo se gana gracias al aumento de la información y el orden.

El concepto de *causalidad* no es unívoco. Se aplica a un vasto espectro de fenómenos disímiles. Bertrand Russell llegó al extremo de afirmar que, por el bien de todos, la palabra “causa” debería eliminarse del lenguaje científico. Es probable que no lo dijera del todo en serio, porque la causalidad es una categoría enraizada en el nivel más profundo de nuestro pensamiento: sin ella no podríamos elaborar otras categorías con las que discurre la razón. Algunos conceptos de causalidad se comparten en las ciencias sin problemas: las causas próximas aristotélicas, la causalidad estadística (Harris, 1982 [1979]), la causalidad estructural (Friedman, 1974), la causalidad circular (Bateson, 1993), la causalidad basada en la selección natural (Adams, 1982). Dada la polivalencia del concepto debemos elegir el que más nos sirva en la búsqueda e interpretación de los hechos.

Se ha dicho que el modelo de causalidad compatible con el enfoque evolucionista es el de causalidad estocástica. Resumiré a continuación el argumento tal como lo entiendo a partir de la lectura de la obra de Adams (véase la bibliografía). La energética social maneja dos tipos de explicación: 1) una basada en causas próximas (*proximate explanation*) y 2) la otra, basada en la selección (*selection explanation*). La primera es una explicación derivada del modelo cognoscitivo que apela a la lógica de los procesos energéticos elementales. Inspirado en el determinismo y en el monismo, privilegiado por la ciencia exacta, el modelo funciona satisfactoriamente sólo cuando se dan condiciones de estabilidad y cuando está dispo-

nible la información detallada. Estas condiciones difícilmente las encuentran las ciencias sociales por sí mismas, de ahí el recurso a la energética. La explicación basada en causas próximas (la del *cómo* suceden las cosas) y la explicación basada en la selección (la del *porqué* de las cosas) difieren en cuanto a la escala y el detalle. La explicación basada en causas próximas especifica las relaciones que preceden un acontecimiento. Se fija en acciones particulares dentro de un suceso individual acotado, además, a un par de factores, tal y como es posible conseguirlo, por ejemplo, en un laboratorio. Por contraste, la explicación basada en la selección presenta encadenamientos históricos dentro de un *tipo* de sucesos. A este respecto viene al caso la distinción de tipos lógicos de Bateson (1993), ya mencionada más arriba.

La explicación basada en la selección es un modelo mental que apela a patrones amplios y de largo alcance para procesos cuyos detalles empíricos son desconocidos o imposibles de conocer. El modelo tiene por concepto central el de la auto-organización y se aplica a procesos complejos —es decir, no lineales, azarosos, compuestos de muchos elementos en interacción—, de modo que, en la práctica, es imposible alcanzar un conocimiento adecuado de todas las condiciones en todos sus detalles. Ahora bien, a pesar de toda esta entropía informática, los procesos complejos con el tiempo suelen manifestar algún patrón evolutivo. “La explicación basada en el patrón no puede especificar nada acerca de cómo ni cuándo ocurren las cosas; tan sólo se limita a afirmar que, tomados en su conjunto, colectivamente o en secuencia, los sucesos trazan finalmente el patrón manifiesto en el modelo” (Adams, 2001: 5). La explicación basada en la selección dispone las “causas próximas” deterministas como miembros de un tipo superior de “causas últimas”, también llamadas “finales” en el esquema de Aristóteles. Es preferible hablar de causas selectivas o de la selección, porque operan aquí y ahora, no desde un futuro.

Una distinción más que debemos hacer es la de las causas que operan por inercia y las que se explican por agentes activos. De hecho esta es una diferencia que manejamos desde las primeras etapas de desarrollo cognitivo (Boyer, 2001). El sentido común asocia la primera con la ciencia y la segunda con el libre albedrío. Ejemplifiqué-



Enrique Lomnitz

moslo con la metáfora del “perro de Bateson” (Bateson, 1993: 113). Si le doy un puntapié a una piedra —razona el autor— le paso la energía y la piedra se mueve; si le doy un puntapié a un perro es cierto que mi acción puede tener un efecto físico de poner al perro “en la órbita newtoniana”, pero no tiene por qué suceder así. El perro puede, anticipándose al golpe, responder con la energía que extrae de su propio metabolismo: huir o atacar; la elección es un proceso estocástico, impredecible hasta para el mismo perro. Un sistema que maneja información (sistema adaptativo) las más de las veces no se mueve por el impacto de la fuerza bruta, como una bola del billar, sino mediante el “control” de la información. El control cibernético, esto es, la causalidad recíproca, la de los mecanismos de *feedback*, es, según Bateson, una idea a la luz de la cual “debemos reexaminar cuanto sabemos” sobre la evolución social (1991: 302)³⁰.

³⁰ El término de “control” debe entenderse en el sentido cibernético, de

La dicotomía energía/información empleada para explicar el comportamiento del sistema disipativo puede valer una acusación de dualismo. Para Adams, el dualismo y el monismo son artificios metodológicos provisionales en espera de algo mejor. En opinión de Nicholas Georgescu-Roegen (1996: 254) el monismo debe reemplazarse por el *principio de complementariedad*: puesto que no poseemos ni vamos a poseer pronto una imagen unificadora de la “textura entretejida de materia, vida y espíritu, ninguna teoría por sí sola puede explicar un fenómeno complejo”. En la energética de Adams la imposibilidad de investigar con las mismas herramientas los procesos energéticos y los modelos mentales de estos procesos (*mentalistic processes*) —como en el ejemplo del perro de Bateson— obliga a tratar estos últimos como si

un mecanismo de regulación (*trigger mechanism*), no en el sentido de un dominio del ser humano sobre la naturaleza, o de una parte sobre el todo, por favor.

fueran procesos de naturaleza distinta. No lo son. La distinción entre la “expansión energética” y la “reducción mental” de esta expansión es una mera conveniencia o necesidad metodológica³¹.

Para que un complejo de energía-materiales-e-información pueda operar en este mundo (en el que la energía se conserva y la entropía crece), su modelo tiene que concebirse sobre una base monista, fisicalista, materialista o como sea que se llame el trasfondo energético de todo sistema operativo. Lo que debe salvarse es el principio elemental de causalidad, un principio que es el “pegamento” de la realidad en el sentido de una categoría kantiana elemental. Éste es el punto problemático que el determinismo, el reduccionismo y el empiricismo no solucionan. Veamos.

Un sistema disipativo opera de tal modo que el cambio (esto es, una transformación energética) se da en dos direcciones opuestas. Se manifiesta en dos formas antagónicas, pero estrictamente relacionadas: 1) se manifiesta en la realización del trabajo, y 2) en la generación del calor no aprovechable (Hacyan, 2004: 69). La realización del trabajo es la “expansión” de la energía, mientras que la generación del calor es sinónimo de la producción del desorden y significa “contracción” de la energía disponible en el mundo. Esto significa que un proceso energético no es simétrico en lo que a causas y efectos se refiere. Una causa pequeña puede desencadenar grandes efectos. “Una pequeña chispa —como dijo Maxwell— enciende un inmenso bosque, una palabra hace de nosotros filósofos o idiotas”.

El éxito de la teoría de la complejidad se debe a que, como explicación, ofrece una alternativa a la concepción basada en el reduccionismo. El *reduccionismo* propone el método de “condiciones iniciales más las leyes del movimiento”, con el cual se puede predecir el pasado, el pre-

sente y el futuro. El tiempo no cuenta. El único requisito sería disponer de una calculadora, a modo de una máquina de Turing, suficientemente potente como para calcular todos los estados del sistema. Pero este argumento “laplaceano”, como se ha dicho, es insostenible: una máquina de este tipo produciría tanto calor que afectaría todo lo que trataría de predecir. El procedimiento de “estado inicial más leyes” en realidad nunca ha funcionado en la ciencia. Lo que se tiene son las descripciones sobre algunos aspectos de algún estado inicial, nunca una descripción exhaustiva del mismo. El reduccionismo avalado por el determinismo mecanicista fungió, sin embargo, por suficiente tiempo en la ciencia como para crear una incomunicación entre las disciplinas. El paradigma de la complejidad pretende sustituirlo como una plataforma común entre las ciencias exactas y las humanidades.

Nuestro entendimiento del mundo es invención propia, pero una invención bajo control, autocorrectiva, cuando se trata del conocimiento científico. El monismo supone que la realidad es una sola, que el mundo está hecho de una sola naturaleza, de lo que existe por sí mismo. La otra opción es el idealismo, el cual postula una realidad de carácter dual: que al mundo material lo mueven las ideas. Pero, la pregunta es cómo estas dos esferas disímiles pueden interactuar. De ser cierto sería un misterio. En la visión monista los procesos naturales se relacionan porque son procesos energéticos a la par que informáticos. El monismo consiste en no desvincular la información de su soporte energético nunca. Aunque la información como la “diferencia que hace la diferencia” (Bateson) sea de cero dimensiones, no puede “existir” materialmente sin reproducirse por medio de sus vehículos de supervivencia y éstos no pueden operar sin disipar energía.

Si aceptamos la premisa anterior, podemos responder a la pregunta de qué es lo que evoluciona. La respuesta es: las formas energéticas, que componen estructuras disipativas y se ordenan en sus respectivos niveles de integración³². En otras palabras, lo que evoluciona son los

³¹ Sospecho que lo que se encuentra detrás del rubro “mental” —dice el autor— es también de naturaleza energética, pero las investigaciones realizadas en tales áreas no nos han proveído de herramientas adecuadas para manejar los sucesos en términos de la energética. Lo mental y lo energético son, en todo caso, aspectos o fases de una cadena singular o de un devenir complejo del mundo externo y, en términos generales, carece de sentido proponer que alguna de las fases o de los aspectos debería colocarse en una relación causal con la otra (Adams, 1983: 307).

³² La *forma energética* es una combinación de energía e información. En su expresión mínima está compuesta por el flujo sustancial y el flujo regulador. La estructura de regulación es conceptualizada por dife-

flujos energéticos que conforman estructuras informáticas. Darwin diría que son las especies; Dawkins, que son los genes “egoístas”; los ecólogos, que las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas. Todos estos fenómenos son ejemplos de formas energéticas y niveles de integración. Las sociedades, en cuanto conjunciones particulares de formas energéticas heterogéneas, constan de formas humanas y no humanas, de formas en equilibrio y de no equilibrio, de formas vivas, así como metaestables. Las sociedades exhiben una característica distintiva o propiedad emergente, que es la cultura. “La cultura permite la incorporación de procesos disipativos en estructuras disipativas de mayor envergadura” (Adams, 2001: 65). Un ejemplo de esto es la creciente dependencia de las sociedades humanas de procesos energéticos que promueven la energía no humana. En la medida en que se integra más energía en los ciclos sociales se producen estructuras cada vez más complejas y mejor informadas, lo que contribuye a contrarrestar las pérdidas entrópicas, pero a costo de una entropía adicional, parte de la cual —no toda— se transfiere al medio. Este aspecto de la evolución —el del pago del impuesto a manos de la entropía— queda fuera de control de cualquier sistema. Pero hay otros aspectos que sí se pueden controlar, como la velocidad del proceso entrópico y, en las etapas últimas, la direccionalidad en cuanto a los objetivos sociales de la evolución.

Cuando se formularon los principios de la termodinámica, el primer intento exitoso de integrarlos en la física clásica fue en términos de movimientos de partículas, según la famosa fórmula de Boltzmann. Se ha dicho que con su enfoque estadístico Boltzmann pretendió salvar la inasible segunda ley para la representación mecanicista de la naturaleza³³. Sea como fuere, la contribución de

Boltzmann tuvo un efecto inesperado cuando el análisis termodinámico, que hasta entonces se aplicaba estrictamente a la transmisión del calor, se extendió hacia los fenómenos relacionados con la transmisión de la información. Las dos interpretaciones de la segunda ley —la de Clausius (entropía como pérdida del calor) y la de Boltzmann (entropía como la medida del desorden molecular)— no se contradicen, pero son de distinto alcance. La interpretación estadística de Boltzmann tuvo un efecto más amplio que la formulación restringida a la transmisión del calor. Según la fórmula de Boltzmann, la segunda ley tan sólo predice probabilidades. El futuro, entonces, no está escrito. La *termodinámica de procesos no aislados* de Prigogine³⁴, la del “orden a partir del caos”, permitió sustituir la visión mecanicista de una realidad perfectamente ordenada por la incertidumbre de un mundo que se va haciendo a partir de sus propios recursos; un mundo a todas luces imperfecto, cuyo orden emerge como una suerte de subproducto de la disipación. Es así como la termodinámica extendió su dominio a sistemas que procesan información, que son los sistemas complejos.

El concepto de complejidad fue elaborado en las ciencias exactas, en las que se definió como una función relacionada con distintas variables de un sistema físico. Sólo en el lenguaje de las matemáticas se puede decir “lo poco que el físico trata de decir” sobre el mundo, observa Bertrand Russell. Sin embargo, para poder comunicarse, los físicos recurren también a las interpretaciones verbales y hasta al lenguaje común, aunque éste sea tan problemático. Es interesante comprobar que no todos los conceptos de las ciencias exactas están definidos con la precisión que la teoría exige. Conceptos tan elementales como campo, energía, fuerza, tiempo, espacio, causa, naturaleza, tienen mucho más de intuitivo y polivalente que de preciso. Ahora bien, por una u otra razón las ciencias sociales no pueden elaborar sus modelos en el lenguaje de las matemáticas con la misma solvencia que las ciencias básicas. Y si los físicos, con lo inteligentes que son, pudieran ser igualmente precisos con la información que

► 63

rentes autores de muchas maneras: la *estructura útil* (Lévi-Strauss), la *mente* (Bateson), la *memoria* (Prigogine), el *mapa* (Korzybski), la *información organizacional* (Brooks y Wiley), el *algoritmo darwiniano* (Calvin), los *procesos descriptivos* (Pattee), los *procesos mentalísticos* (Adams), pero en todos estos casos se trata de un conjunto de mecanismos de realimentación. Es importante advertir que el modelo en sí es una forma energética, en este caso especializada en el procesamiento de información (Adams, 1982).

³³ “El tiempo, la evolución, la intencionalidad, el cambio cualitativo, no son meras apariencias que se pueden refutar con las leyes mecánicas ni con las estadísticas” (Georgescu-Roegen, 1996: 205).

³⁴ Se conoce más bien como la *termodinámica de procesos irreversibles*, pero todos los procesos termodinámicos son irreversibles, los que estudia la termodinámica clásica también.

se maneja en humanidades, ya les hubieran comido el mandado a los científicos sociales desde hace tiempo. Para eso necesitarían un entropómetro, y todavía no lo tienen, observa Georgescu-Roegen (1996).

La dificultad de enfocar los asuntos humanos desde la perspectiva científica no es la de una supuesta complejidad mayor; la evolución física es tan compleja como la de cualquier otro ámbito. La dificultad en las ciencias sociales consiste en que el mapa cognitivo de la realidad debe incluir las novedades evolutivas de un nivel inédito: el manejo de la información por medios simbólicos. Como consecuencia, disponemos de mapas *sui generis*. Cuenta Jorge Luis Borges (1980) de un imperio en el que el arte de la cartografía logró tal perfección que el mapa coincidía con el territorio. Es posible que las descripciones de la realidad con las que contamos hoy día en las ciencias sociales superen la hazaña de los geógrafos de aquel imperio borgiano. Piénsese en los volúmenes de textos que albergan las bibliotecas. En la medida en que nos alejamos de la física y nos desplazamos hacia las ciencias sociales las descripciones son cada vez más *idiosincrásicas*: a más información, menos teoría. No es que la teoría desaparezca sino que, dada la exuberante riqueza de la realidad, cualquier idea encuentra suficientes datos como para verificarse.

En ciencias sociales es difícil trabajar con algoritmos matemáticos no tanto por la cantidad de variables del modelo, sino por cierta cualidad de las mismas. Éstas tienen la cualidad de signos, símbolos y valores. Y la verdad no está en un signo, un símbolo o un valor, sino en un conjunto ambiguo y enigmático de ellos. Debido a esto el procesamiento de la información por medios que están al alcance de los seres humanos deja mucho que desear en cuanto a precisión, eficiencia y objetividad. Para ensamblar las formas energéticas sociales los seres humanos nos valemos de la cultura, es decir, de nuestra capacidad de simbolización. Pero eso mismo nos distrae enormemente a la hora de tomar decisiones. Gran parte de la adaptación humana se produce en términos de imágenes borrosas, valores que se resisten al cálculo y símbolos que no son compartidos por todos nosotros. Es por esta razón, entre otras, que en las sociedades humanas todo pasa por la política. La política es un elemento om-

nipresente en todas las relaciones humanas, de ahí que los modelos deben de tomarla en cuenta. Un científico no necesita hacerlo mientras esté en su laboratorio. Cuando sale de él tiene que hacer política si quiere regresar. En cuanto manera de ponerse de acuerdo, la política resulta muy cara, tanto en términos energéticos como económicos. En los sistemas disipativos diseñados de manera distinta a los sociales (los fisicoquímicos, los orgánicos, los ecológicos, los mecánicos, los cibernéticos) no se emplean los recursos de modo tan oneroso y desgastante. Los sistemas sociales son verdaderamente disipativos. Acaban con los bosques, las montañas y los mares. Su funcionamiento tiene un costo ecológico enorme. Sin embargo, la idea triunfalista de la “apropiación económica de la naturaleza” es tan poderosa y compartida por tanta gente de mentalidad tan diferente que es difícil revertirla.

Suele pensarse que en asuntos sociales no hay variables independientes. Sin embargo, eso depende de la perspectiva que se adopte. Desde la teoría de sistemas queda claro que la misma dinámica de expansión y contracción de la energía está operando en todos los procesos naturales. La energía es la variable independiente, junto con su anverso, la entropía. El tiempo se acaba para todos. El argumento no consiste en que la sociedad consuma los energéticos y demás recursos no renovables, sino que la sociedad es *en sí* un flujo energético y se comporta como tal. La evolución social tiene sus particularidades. A diferencia de flujos meramente físicos, químicos y bióticos, los *vehículos de supervivencia* sociales (véase Adams, 2001) cuentan con mecanismos de detonación más variados debido esencialmente al manejo de información por medios culturales. Más variados, pero también más caros en términos energéticos: los costosos mecanismos culturales, que entran en acción para establecer acuerdos entre la gente, encarecen mucho los procesos de adaptación sociales.

El aumento de la complejidad es la manera en que los sistemas adaptativos disminuyen temporal y localmente la incertidumbre en relación con su medio. Las sociedades humanas lo consiguen por medio del acoplamiento de varios sistemas reproductivos y la coevolución de formas energéticas. El precio que se debe pagar por la protección de esta burbuja llamada complejidad es el sometimien-

to a los controles internos del ecosistema. Sin embargo, cuando una especie o un subsistema reproductivo encuentra una fuente de energía nueva o logra asociarse ventajosamente con algún sistema reproductivo diferente, lo hará sin medir las consecuencias. Dado que la disipación se soluciona con más disipación —y no puede ser de otra manera—, la complejidad sólo puede proporcionar cierta seguridad a corto plazo. A largo plazo, como dicen los economistas, todos estaremos muertos. Las sociedades humanas son expertas en transferir la entropía al medio, de un sistema a otro. Sólo que en los sistemas sociales esta transferencia toma la forma de un conflicto cuando se da de una clase social a otra, de norte a sur, del centro a la periferia. Al evadir los controles locales, al aplicar el manejo de la información más fino y la tecnología más sofisticada, las sociedades humanas han acelerado el proceso evolutivo como nunca antes. Los cálculos y las previsiones hechas desde la ciencia social que domina el panorama contemporáneo, la economía, no se pueden efectuar con más precisión más allá de veinte años, cuando mucho. Tal vez se podría preparar otro escenario, pero a los seres humanos evidentemente no les interesa una vida prolongada sin riesgos. “Quizá el destino de la humanidad sea tener una corta pero feroz, excitante y extravagante vida, en vez de una existencia larga, vegetativa y sin sobresaltos”, recapitula Nicholas Georgescu-Roegen (1977: 35).

CONCLUSIÓN

¿Qué es la complejidad? Proyectamos la *idea* de complejidad sobre los intrincados procesos evolutivos prebióticos, orgánicos y sociales para clasificarlos y simplificarlos, y para luego incidir en ellos, si se puede. Se puede, porque la complejidad es un mecanismo que los sistemas adaptativos elaboran para solucionar un problema básico, común a todos, que es el déficit entrópico. La propensión evolutiva hacia la complejidad es el resultado del principio de entropía. La complejidad es una manera de protegerse entre sí los sistemas disipativos. Al repartir los gastos, tamizar la energía de manera fina y aprovechar hasta el último flujo de la “rueda del molino” evolutivo

(Lotka), los sistemas inclusivos autorreplicantes crean su propio ambiente: esta enmarañada y barroca red de intercambios en la que colaboran y compiten por conseguir el tiempo, el espacio y los recursos. La complejidad es la interdependencia de formas energéticas heterogéneas. El modelo de sistemas disipativos y de niveles de integración incorpora los conceptos de irreversibilidad, no linealidad, causalidad estocástica, emergencia, recursividad y otros más (véase el diagrama, p. 44). Siendo estos conceptos de invención humana, ¿cómo pueden decir algo de la realidad? La respuesta es que evolucionaron con ella. La complejidad es el secreto de adaptación de los sistemas dinámicos y el sistema cognitivo humano es uno de ellos.

¿Cuál es la correspondencia entre el modelo y la realidad? Para responder la pregunta deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones. Los modelos se emplean en el nivel analítico, explicativo, o en el nivel operativo. Como concepto *analítico*, la idea de complejidad pertenece a la informática. En este sentido, la *teoría de la complejidad* es una rama de la informática que se ocupa de los recursos necesarios para realizar determinadas clases de cálculos sobre recursos, tales como el tiempo, la energía, la capacidad de memoria, los medios y los fines (véase Deutsch, 1999: 105). En tanto modelo informático, la teoría de la complejidad se refiere a los cálculos de viabilidad de programas, operaciones o proyectos. En sentido técnico, la complejidad es un “sistema de información” (Boulding, 1968: 162)³⁵.

Pasemos ahora al nivel operativo. La teoría de la complejidad proporciona herramientas para calcular riesgos. El riesgo es la probabilidad de sufrir un daño irreversible. El riesgo nunca es “natural” (surgido espontáneamente), sino que es una situación elaborada, compuesta e irrepitable. Su cálculo es de naturaleza estadística. La inestabilidad es el anverso de la complejidad: cuanto más complejo es un sistema más fuentes energéticas utiliza y

³⁵ El tamaño o la calidad del sistema de información pueden medirse con la fórmula de Shannon, también llamada “entropía de la información”. Esta fórmula mide la tasa de mensajes que conduce un canal independientemente de la naturaleza del canal. La implicación profunda es que cualquiera que sea el canal es siempre una realidad física sometida a la dinámica de la segunda ley.

más información necesita para sostenerse a flote en medio del caos. En la medida en que pasamos de un nivel de complejidad a otro, los arreglos del sistema incluso son cada vez más frágiles. No obedecen más ley que la indeterminación entrópica. Conforme aumenta la complejidad, aumenta la inestabilidad. Una pregunta interesante es la que se refiere a los límites de la complejidad: qué tan complejo puede llegar a ser un sistema. Aunque la informática todavía no puede responder esa pregunta (Prigogine y Stengers, 1985), debe descartarse la idea de que una determinada complejidad pudiera ser infinita.

La realidad nunca es algo obvio. La complejidad es sinónimo de fragmentación de la realidad, de su clasificación arbitraria en sistemas y niveles, de su recomposición en realidades nuevas. La complejidad no es algo que pueda percibirse a simple vista. Para percibir la complejidad se necesitan órganos sensoriales especialmente diseñados. Si bien la complejidad de la naturaleza es inconmensurable y está fuera del alcance del entendimiento humano, la complejidad como característica del modelo explicativo es, paradójicamente, una simplificación de la complejidad efectiva del mundo. El *paradigma de la complejidad* proporciona elementos teóricos (los principios de la termodinámica, una matriz de causalidad, los patrones de la evolución) no sólo para elaborar modelos explicativos, sino también para reordenar la realidad, incidir en ella. ¿Cómo es que las personas y los grupos sociales perciben la complejidad, la incertidumbre y el peligro? Para ello requieren de la tecnología informática. Aun cuando la dinámica de fondo de los procesos evolutivos está fuera del control humano, el manejo de información permite cierto margen de maniobra.

Toda actividad humana tiene sus riesgos en la medida en que deja una “huella ecológica”. En un mundo cerrado la entropía finalmente es intransferible. Aunque no sepamos medir la entropía, debemos estar al tanto de *qué es lo que significa*. La entropía es el concepto más abstracto jamás inventado por la ciencia: es el índice de la energía inútil. ¿Dónde está esa energía? En la proporción entre la energía disponible y la no disponible en un sistema. *Proporción* es un concepto abstracto, pero otra cosa son las formas energéticas que la manifiestan. A diferencia de la entropía, las formas de alto contenido de entropía,

las que desechamos al medio, éstas sí son concretas. La basura, la contaminación, los tóxicos y un largo etcétera, son el producto primario de la actividad industrial humana. Y no hablemos de las consecuencias del gasto militar y de las guerras. ¿Por qué el desgaste entrópico no entra en los cálculos y las previsiones de los políticos, administradores, economistas y los consumidores? Sobre todo, ¿por qué no se toma en cuenta el consumo estúpido? Es un misterio. Ahora que la contaminación y la basura ya nos están alcanzando, ahora que el calentamiento global sigue su curso irreversible y los desechos ya no se pueden esconder, todo el mundo se pregunta qué es lo que falló.

Somos víctimas de un monumental autoengaño llamado pomposamente “la conquista de la naturaleza”. Nuestros héroes son los conquistadores. Somos proclives a creer en los poderes de la fuerza bruta y la tecnología: “*Come what shall we find the way*”. Todos pensamos que el crecimiento económico mejora las condiciones de vida en la Tierra. Y cuando la derecha, la izquierda y los liberales del centro están de acuerdo, es muy difícil interponer objeción alguna. La ideología del “progreso”, concebido como una cruzada contra la naturaleza, encubre la incapacidad de las élites políticas —tanto de las sociedades industrializadas como de las que están “en vías de desarrollo”— de ejercer el buen juicio respecto de la supervivencia de la sociedad como un todo. Esto es, de una sociedad concebida a escala humana. Al ignorar campalmente el principio de la entropía —un condicionamiento elemental a la vista de todos—, las ciencias sociales han creado conjeturas fantasiosas, por decir lo menos, teorías que remiten la explicación del cambio social a factores que poco o nada tienen que ver con la dinámica elemental de la evolución. La complejidad nos es invisible, como la entropía misma.

La ley de entropía se refiere a la naturaleza del tiempo, el tiempo irreversible. *El tiempo es energía*: la energía que nos queda para no consumir los recursos prematuramente, es decir, antes de desarrollar el conocimiento necesario para el siguiente nivel de supervivencia. Pero, ¿qué es el siguiente nivel de supervivencia? Como Popper ha señalado, el curso de los asuntos humanos depende del futuro desarrollo del conocimiento, un conocimiento inexistente todavía. Ahora bien, cualquiera que sea la na-

turalidad de ese conocimiento futuro, nada cambiará el hecho de que son los principios de la termodinámica los que acotan las posibilidades. La naturaleza irreversible de los procesos energéticos indica que: 1) no se repetirá un estado anterior, y 2) que la historia deja trazas que limitan el número de estados posibles en el futuro.

A mi modo de ver el problema de las ciencias sociales es el siguiente: en la medida en que los sistemas sociales incorporan más y más información, la descripción de estos sistemas se hace más larga, complicada e idiosincrásica. En las ciencias duras, debido al formalismo matemático, sucede lo contrario, si exceptuamos las largas explicaciones verbales que acompañan las fórmulas concisas en todo manual de física. En el marco de la discusión epistemológica acerca de la hipótesis de la selección-como-auto-organización y de la conjetura sobre la evolución basada en ella, la teoría de la complejidad muestra una cierta vocación unificadora. Paradigmas que previamente no parecían tener relación alguna están siendo subsumidos en una síntesis o una “ecología de ideas” inédita. En ella confluyen elementos teóricos que no estuvieron disponibles en su conjunto sino hasta hace poco tiempo: el principio de Lotka, la teoría de sistemas disipativos, la teoría del control, la informática, las matemáticas no lineales, la teoría del caos, la energética social y la misma epistemología evolucionista. Las ideas chocan entre sí como si fueran cúmulos de galaxias, se rechazan o se absorben mutuamente en un proceso de selección recíproca. La adaptación resultante consiste en que el conocimiento se vuelve parte estructural no sólo de la imagen del universo, sino del universo mismo. La esperanza no está en la fe en los milagros, sino en que nuestro conocimiento pueda incorporarse a la realidad al construirla. “Porque, si la presencia de la vida tiene importancia —sostiene Nicholas Georgescu-Roegen (1996: 254)—, la vida debe tener algún efecto sobre las leyes físicas”.

Referencias bibliográficas

Adams, Richard N., 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.

- , 1982, *Paradoxical Harvest*, Cambridge University Press, Cambridge.
- , 1983, *Energía y estructura*, Fondo de Cultura Económica, México [traducción de *Energy and Structure: A Theory of Social Power*, University of Texas Press, Austin, 1975].
- , 2001, *El octavo día*, Universidad Autónoma Metropolitana, México [traducción de *The Eight Day. Social Evolution as the Self-Organization of Energy*, University of Texas Press, Austin, 1988].
- Bateson, Gregory, 1991, *Pasos hacia una ecología de la mente*, Planeta, Carlos Lohlé, Buenos Aires.
- , 1993, *Espíritu y naturaleza*, Amorrortu, Buenos Aires [original en inglés, 1979].
- Borges, Jorge Luis, 1980, *Prosa completa*, Bruguera, Barcelona.
- Boulding, Kenneth E., 1968, *Beyond Economics*, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Boyd, Robert y Peter J. Richerson, 1985, *Culture and the Evolutionary Process*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Boyer, Pascal, 2001, *The Evolutionary Origins of Religious Thought*, Basic Books, Londres.
- Brockman, John (ed.), 1995, *The Third Culture. Beyond the Scientific Revolution*, Simon & Schuster, Nueva York.
- Cambel, Ali Bulend, 1993, *Applied Chaos Theory. A Paradigm for Complexity*, Academic Press, Boston.
- Chaisson, Eric J., 2001, *Cosmic Evolution. The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge.
- Coveney, Peter y Roger Highfield, 1993, *La flecha del tiempo*, RBA, Barcelona.
- Darwin, Charles, 1980 [1859], *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, John Murray, Londres.
- Dennett, Daniel C., 1999, *La peligrosa idea de Darwin*, Galaxia Gutenberg, Madrid.
- Deutsch, David, 1999, *La estructura de la realidad*, Anagrama, Barcelona.
- Eddington, Arthur S., 1998, “La decadencia del determinismo”, en Martín Gardner, *Los grandes ensayos de la ciencia*, Nueva Imagen, México.
- Feynman, Richard, 1965, *The Character of Physical Law*, MIT, Massachusetts.
- Friedman, Jonathan, 2005, “Marxismo, estructuralismo y materialismo vulgar”, *Bricolage*, núm. 2, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Departamento de Antropología [traducción de “Marxism, Structuralism and Vulgar Materialism”, *Man*, núm. 9, 1974].
- García B., Rolando, 1986, “Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos”, en Enrique Leff (coord.),

- Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*, Siglo XXI, México, pp. 22-44].
- , 2006, *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*, Gedisa, Barcelona.
- Geertz, Clifford, 1987 [1973], *La interpretación de las culturas*, Gedisa, Barcelona.
- Georgescu-Roegen, Nicholas, 1977, “Energía y mitos económicos”, *El Trimestre Económico*, XLII, vol. 4, núm. 168, México [traducción de “Energy and the Economic Myths”, *The Southern Economic Journal*, vol. 41, núm. 3, Chapel Hill, North Carolina, 1975].
- , 1996, *La ley de la entropía y el proceso económico*, Fundación Argentaria, Madrid [traducción de *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Harvard, 1971].
- Giere, Ronald, 1999, *Science Without Laws*, University of Chicago Press, Chicago.
- Gould, Stephen Jay et al., 1987, “Darwinism and the Expansion of Evolutionary Theory”, *Science*, núm. 216.
- Harris, Marvin, 1982 [1979], *El materialismo cultural*, Alianza Editorial, Madrid.
- Hacyan, Shahen, 2004, *Física y metafísica del espacio y el tiempo*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Hamilton, H. J., 1977, “A Thermodynamic Theory of the Origin and Hierarchical Evolution of Living Systems”, *Zygon*, vol. 12, núm. 4, pp. 289-335.
- Hawking, Stephen, 1988, *Historia del tiempo*, Grijalbo Mondadori, Barcelona.
- Hayles, N. Katherine, 2000 [1993], *La evolución del caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*, Gedisa, Barcelona.
- Leff, Enrique (coord.), 1981, *Biosociología y articulación de las ciencias*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lotka, Alfred, 1925, *Elements of Physical Biology*, Dover, Nueva York.
- Lévi-Strauss, Claude, 1967, *Antropología estructural*, Paidós, Buenos Aires.
- Margulis, Lynn y Dorion Sagan, 1996, *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona.
- Maturana, Humberto y Francisco Varela, 1997 [1973], *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis, la organización de lo vivo*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- May, Robert M., 1974, *Stability and Complexity in Model Ecosystems*, Harvard University Press, Cambridge.
- Penrose, Roger, 2007 [2004], *El camino a la realidad. Una guía completa de las leyes del universo*, Random House Mondadori, México.
- Planck, Max, 1978, *Una autobiografía científica*, Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología, México (col. Ensayos científicos).
- Popper, Karl R., 1990, *A World of Propensities*, Thoemmes, Bruselas.
- Prigogine, Ilya, 1983, *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Tusquets, Barcelona.
- e Isabelle Stengers, 1985, *La nueva alianza*, Alianza, Madrid.
- , Peter M. Allen y Robert Herman, 1977, “Long Term Trends and the Evolution of Complexity”, en Ervin Laszlo y Judah Bierman (eds.), *Goals in a Global Community. The Original Background Papers for “Goals of Mankind”. A Report to the Club of Rome*, Pergamon Press, Nueva York, pp. 1-63 [trad. en español en Tyrtania, 1999].
- Ruiz, Rosaura y Francisco J. Ayala, 1998, *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Steward, Ian, 1999, *El segundo secreto de la vida*, Crítica, Barcelona.
- Steward, Julian, 1954, *Theory of Culture Change*, Urbana, Chicago.
- Tyrtania, Leonardo, 1992, “Naturaleza y ecología de la mente. El binomio natura/cultura en la obra de Gregory Bateson”, en Teresa Kwiatkowska (comp.), *Naturaleza y cultura*, Plaza y Valdés, México.
- , 1999, *Termodinámica de la supervivencia para las ciencias sociales*, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Viqueira, Juan Pedro, 2002, *Encrucijadas chiapanecas*, Tusquets, Colegio de México, México.
- Wagensberg, Jorge, 1985, *Ideas sobre la complejidad del mundo*, Tusquets, Barcelona.
- , 2002, *Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?*, Tusquets, Barcelona.
- Varela, Roberto, 2005, “Cultura y poder. Una visión antropológica para el análisis de la cultura política”, *Anthropos*, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- White, Leslie, 1964, *La ciencia de la cultura*, Paidós, Buenos Aires.
- Wiener, Norbert, 1948, *Cybernetics*, MIT, Massachussets [trad. en español: *Cibernética*, Tusquets, Barcelona, 1985].