

La Fundación Gondwana para el Desarrollo Sostenible es una entidad privada y sin ánimo de lucro, constituida por un grupo de profesionales del medio ambiente y la agroecología, cuyo objetivo principal es afrontar los retos del desarrollo sostenible desde la sensibilización, la formación, la investigación y la consultoría. Fue creada en 1990 y, actualmente, su sede se encuentra en Granada (Andalucía), y dispone de dos equipos de trabajo principales: la unidad de Medio Ambiente, Agroecología y Desarrollo Sostenible y la unidad de Cultura, Género y Sociedad. Recientemente comenzó a trabajar en Cooperación al Desarrollo, área que pretende desarrollar en los próximos años.

FRANCISCO GARRIDO, MANUEL GONZÁLEZ DE MOLINA,
JOSÉ LUIS SERRANO y JOSÉ LUIS SOLANA (eds.)

EL PARADIGMA ECOLÓGICO EN LAS CIENCIAS SOCIALES

FRANCISCO GARRIDO
MANUEL GONZÁLEZ DE MOLINA
EDGAR MORIN
GIUSEPPE MUNDA
MICHELA NARDO
ALICIA PULEO
JOSÉ LUIS SERRANO
JOSÉ LUIS SOLANA
VÍCTOR TOLEDO
ÁNGEL VALENCIA



Icaria ✿ Antrazyt
ECOLOGÍA

I. SOBRE LA EPISTEMOLOGÍA ECOLÓGICA

Francisco Garrido Peña, Universidad de Jaén

La crisis ecológica como crisis civilizatoria

La evidencia y los efectos de la crisis ecológica

La crisis ecológica es un proceso planetario de deterioro acelerado de los ecosistemas donde la vida humana es factible. Este deterioro ambiental está causado por el impacto negativo de actividades humanas. De tal magnitud es este proceso de destrucción del equilibrio de los ecosistemas naturales que se abre la posibilidad, avalada por numerosas evidencias empíricas, de la desaparición de nuestra especie, y con ella de otras muchas formas de vida sobre la tierra.

El origen histórico y social de la crisis ecológica hay que situarlo en occidente (Europa y Norteamérica) y en el momento histórico de la revolución industrial allá por los comienzos del siglo XIX. Esto no implica afirmar que otras culturas y en otras épocas hayan mantenido una relación con la naturaleza idílica y equilibrada. Muchas de las culturas que hemos conocido han tenido un fuerte impacto ambiental y en todo caso no hay cultura humana sin algún tipo de coste o deterioro ecológico.

Pero el modelo productivo y económico basado en el uso intensivo de energía exosomática (combustibles fósiles: petróleo y carbón) y en el consumo de recursos naturales (suelo, masas forestales, agua, minerales) inaugurado por el capitalismo industrial occidental no tiene precedentes en la historia de la humanidad. La crisis se expresa por medio de tres tipos de procesos:

- a) Agotamiento de recursos disponibles (reducción de la biodiversidad, agotamiento de los combustibles fósiles, del agua, del suelo, de los minerales).

- b) Contaminación de los ecosistemas, del agua y de la atmósfera con sustancias tóxicas.
- c) Saturación de residuos de los procesos productivos y de consumo que superan la tasa de asimilación de los ecosistemas.

Entre estos tres tipos de procesos de degradación (agotamiento, contaminación y saturación) se establece una diabólica sinergia destructiva que acaba generando efectos como el cambio climático de consecuencias fatales para muchas formas de vida sobre la tierra.

La evidencia de los daños al medio y del deterioro de las condiciones de vida sobre el planeta, respaldados por numerosos estudios e investigaciones, encontró en algunos trabajos un punto de inflexión en la aparición de la conciencia de la crisis ecológica. En este sentido destaca sobremanera un estudio publicado en 1972: *Los límites del crecimiento*. Encargado por el Club de Roma, realizado en el MIT y dirigido por Dennis Meadows, este estudio puso de manifiesto la insostenibilidad del actual modelo de desarrollo. El colapso y agotamiento aparecen en este informe como horizonte factible y probable si no se produce un cambio drástico hacia la sostenibilidad. Y es en este contexto en el que otro informe («Nuestro futuro común») también conocido como Informe Brundtland (fue dirigido por la que fuera primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland, en el marco de Naciones Unidas) formuló la que sería la primera definición canónica del desarrollo sostenible (Brundtland, G., 1989).

En la actualidad existe un amplio consenso dentro de la comunidad científica internacional sobre algunas de las consecuencias de la crisis ecológica como son la creciente pérdida de biodiversidad, el cambio climático, el previsible agotamiento de los combustibles fósiles, la imparable erosión de los suelos, la pérdida de calidad del agua y de la atmósfera, la contaminación y la inseguridad en los productos alimentarios y otros impactos ambientales que tienen repercusiones muy graves sobre la salud del planeta y de los individuos.

La percepción social de la crisis ecológica ha producido un amplio movimiento intelectual, ético y político de revisión del conjunto de condiciones históricas que nos han conducido ante esta antecámara de la catástrofe. El cuestionamiento abarca desde la ontología

(representación de lo real y por tanto también de lo social y de lo natural), la epistemología (la formas y las vías del conocimiento), la ética (los valores, los límites de la comunidad moral) hasta la política (la acción colectiva y la organización del poder) y la economía (los modos producción distribución y consumo). Por tanto, la ciencia, la tecnología, la economía, la ética, la filosofía y la teoría política se han sentido zarandeadas y sometidas a evaluación crítica por una nueva conciencia social ecológica que coloca bajo sospecha a toda la cultura moderna industrial y capitalista.

La constatación del «callejón sin salida» en que la representación humanista y mecanicista del mundo ha conducido a la especie situándola ante el horizonte de su propia extinción; nos obliga a repensar los fundamentos de esta civilización racionalista y productivista. No sólo estamos impelidos a cuestionar las acciones y programas políticos y económicos o los valores morales, es también necesario poner en «tela de juicio» las mismas formas que condicionan la percepción y representación de lo real. Es esta profundidad ontológica la que nos indica la dimensión real de la crisis ecológica como crisis civilizatoria.

La imagen de la naturaleza, del tiempo, de la relaciones entre sociedad y medio natural, del valor, de la vida y de la humanidad misma que subyacen en el interior del mecanicismo, del humanismo, de productivismo tecnocrático, del mercantilismo capitalista son el sustrato ideológico que han impulsado esta enorme maquinaria de transformación y de destrucción que se ha desarrollado desde la primera revolución industrial. El pensamiento ecologista ha localizado e identificado en estos dispositivos ideológicos e institucionales los responsables directos de la crisis ecológica.

El mecanicismo: la naturaleza muerta y atomizada

El mecanicismo y el pensamiento analítico-parcelario han construido una imagen del mundo y de la naturaleza como un conjunto de partes elementales, articuladas por relaciones de fuerza (acción, reacción, inercia) sometida a una temporalidad reversible e inerte (como simples magnitudes físicas encarnadas en formas digitales). Bacon, Descartes, Newton formularon esta visión de lo real que prepara el camino para la dominación tecnocrática del mundo y su explotación como recurso mercantil.

En el mecanicismo y en el pensamiento analítico hay un error de idealismo pues se confunde un movimiento y momento intelectual (el del análisis) con la constitución misma de lo real, de tal modo que se produce una doble confusión; por un lado de entre el plano cognitivo y el ontológico, y por otro entre un momento del conocimiento y la totalidad compleja de este. De esta forma se simplifica lo real en un imagen ideal (racionalista) y se simplifica también el mismo conocimiento de lo real fijando éste en el momento de la separación (disección) y el análisis. Pero ni la naturaleza, ni el mundo, ni el conocimiento tienen necesariamente que ser así y reducirse a esta imagen simplista.

El mecanicismo crea las condiciones para una representación social del mundo y de la naturaleza apta para su colonización industrial y para la explotación y manipulación mercantil. Las ilusiones del productivismo tecnocrático cobraron cuerpo sobre los supuestos ontológicos mecanicistas. La influencia del paradigma mecanicista se extendió también al campo de las ciencias sociales. La epistemología liberal (individuos atomizados luchando unos contra otros) encuentra también en el pensamiento analítico-parcelario una fuente de legitimación poderosa.

No debemos confundir la ciencia con el mecanicismo. Éste es sólo un paradigma científico históricamente dominante, pero ni agota ni resume toda la aventura intelectual y material de la ciencia moderna (Khun, Th., 2000). La crítica al mecanicismo puede ser hecha desde distintas instancias (política, ética, social) pero un lugar fundamental para su ejercicio; es la misma ciencia. El paradigma ecológico funda en la misma ciencia el núcleo central de las objeciones y críticas al mecanicismo. La crítica ecológica al mecanicismo no implica anticientifismo, es sólo la crítica a un paradigma científico concreto que ha mostrado ser muy poco científico y sí muy ideológico.

El humanismo antropocéntrico

Paralelo a la emergencia del mecanicismo aparece el humanismo con el consiguiente giro antropocéntrico. El proceso de secularización que conllevó la ilustración comportó una entronización del hombre racional, masculino occidental como el centro de lo real. El abismo entre hombre y naturaleza se agrandaba hasta convertirse en

un abismo ontológico que trasmutaba a la naturaleza en un mero escenario de recursos económicos disponibles para la explotación humana.

El humanismo presupone la supremacía absoluta del individuo humano (con distintos sesgos de género, de clase, étnico añadidos a los largo de la historia) sobre cualquier otra forma de vida y de existencia en el planeta. El dualismo cartesiano establecerá la primacía de la *res cogitans* sobre la *res extensa* y con ella de una cierta forma de humanidad (racionalista) sobre cualquier otra materia (*res extensa*). Este desprecio de todo lo que no encaje en la definición humanista de lo humano (Heidegger, M., 2000) y que implicaba también el desprecio y la ignorancia de la naturaleza, creó un caldo de cultivo óptimo para la destrucción del medio natural y la ignorancia de la posición interdependiente de la especie humana dentro del planeta.

Paradójicamente este proceso antropocéntrico se desarrolla también en paralelo con otro proceso de sentido inverso, de descentralización del mundo, impulsado por la ciencia que se venía alumbrando desde Galileo y que pasa por Darwin, Freud y llega hasta nuestros días con el desciframiento del genoma humano. Ni la tierra es el centro del universo (Galileo), ni el hombre es el rey de la creación (Darwin), ni la razón es el soberano del individuo (Freud), ni somos ontológicamente distintos a las restantes especies (genoma). El antropocentrismo humanista tiene hoy menos bases empíricas que nunca para sustentar su delirio excluyente. Pero el fundamento del antropocentrismo no hay que buscarlo en el movimiento de la ciencia sino la visión del mundo que el mecanicismo produce una visión que ya está lastrada por el idealismo racionalista y analítico.

El mercantilismo fetichista de la forma capital

La hegemonía de las formas mercantiles de producción y de valorización con la consiguiente destrucción de los viejos lazos feudales, implicó un desplazamiento radical del valor de uso sobre el valor de cambio. Una forma inmaterial, abstracta e infinita de encarnación del valor (el capital) se situó en el centro de la producción material, de su distribución y circulación. Todo valor pudo ser convertido en capital. Esta convertibilidad uniforme destruyó los límites y las contricciones del antiguo régimen y revolucionó por completo las relaciones sociales y las relaciones de la sociedad con el medio natural. Al

carecer la forma capital de cualquier límite físico, la ficción de una riqueza y de un crecimiento infinito cobró cuerpo institucional.

El fetichismo de la mercancía que enmascara en las cosas (en este caso abstractas: el dinero) las relaciones sociales que subyacen a la producción también oculta y mistifica las relaciones socioambientales (sociedad-naturaleza) que subyacen, y más radicalmente todavía, a la producción. Si el trabajo como forma viva de la producción material humana es explotado y subordinado a la forma inerte y cosificada del capital; la naturaleza (los ecosistemas, las especies, la materia y la energía) sufren también un proceso de cosificación y explotación por el fetichismo de la mercancía capitalista. El mecanicismo y el humanismo antropocéntrico se fraguan, y al mismo tiempo son producto, de esta eclosión de la forma mercantil más poderosa, autónoma y abstracta que se ha conocido: el capital.

Si la naturaleza es un conjunto de recursos inertes y manipulables (manufacturable) en cualquier dirección (mecanismo); si sólo el hombre (y un tipo de hombre) es sujeto y tiene una existencia ontológicamente real (racionalismo humanista) y moralmente digna (antropocentrismo) están dadas todas las condiciones culturales para que los valores naturales o sociales sean reducidos a meros valores mercantiles. Sólo así será factible que toda relación social o socioambiental sea vista y contemplada como una relación mercantil.

La racionalidad tecnocrática

El uso que el mecanicismo y el capitalismo realiza de la aplicación de la ciencia a las actividades productivas ha dado lugar a la racionalidad científico-técnica y a la tecnocracia productivista. Esto ha supuesto de hecho la reducción de la ciencia a la técnica y la colocación de la técnica como criterio de legitimación política y ética. En esto consiste la tecnocracia en el «gobierno del martillo sobre el brazo», cuando el instrumento se impone como fin sobre los fines mismos (Mundford, L.).

Un nuevo imperativo se abre paso, es el imperativo tecnocrático que dice «todo lo que puede técnicamente ser hecho debe moral y políticamente ser realizado» (Jonas, H, 1995) La dinámica que la tecnocracia impone está directamente impulsada por la necesidad de crecimiento y de aceleración de la circulación del capital. En este sentido, la tecnocracia, que se disfraza de ciencia por medio del me-

canicismo, juega un papel parecido al de la religión en el antiguo régimen: legitimar, por medio de formas mistificadas de la verdad, las necesidades del sistema productivo dominante y la consagración de las desigualdades sociales como algo natural e inevitable. La racionalidad tecnocrática es una forma de derecho natural que pretende hacer pasar como objetivamente necesario aquello que no es sino ideológicamente oportuno.

El crecimiento por el crecimiento, la manipulación y la transformación de todas las relaciones (naturales o sociales) sin ningún objetivo salvo el mismo movimiento de la manipulación, ésta es la ética performativa del capital que se ve perfectamente reflejada en uso ideológico que la tecnocracia realiza tanto de la ciencia como de la técnica. Pero todo este festín ideológico no sería posible sin el enorme poder de transformación que la ciencia y la técnica moderna han alcanzado. El hecho de que esta ciencia y esta técnica no satisfagan todas sus posibilidades tecnológicas no depende de éstas, sino de las relaciones sociales y de la ideología tecnocrática, que les imponen un freno objetivo. Hoy podemos decir que el conocido axioma marxista de los *Grundrisse* sobre la contradicción entre las fuerzas productivas y las relaciones de producción cobra una nueva dimensión aún más verosímil y significativa. Si confrontamos las posibilidades del actual estado de desarrollo de la tecnología y el grado de satisfacción de necesidades sociales y ambientales básicas, tenemos que concluir que el modelo político y económico dominante es un freno para el desarrollo de las utilidades sociales y ecológicas de la tecnología.

La colonización del tiempo: el mito del progreso

El mito del progreso consiste, paradójicamente y al contrario de lo que aparentemente pudiera sugerir, en un olvido del pasado (tradición) y del futuro (la previsión y la planificación) en favor de un presente eternizado e inmediato. La confianza en un avance automático e irrefrenable hacia lo mejor de la mano de la tecnocracia se convierte en el refugio para la irresponsabilidad organizada (Beck, U., 1998).

Para que el mito de progreso, tan unido al racionalismo humanista, tuviera éxito social ha sido necesario construir toda una precomprensión de la temporalidad que conlleva la ignorancia y el olvido del tiempo físico mismo. La exclusión del tiempo de las cosas,

de la naturaleza y de la misma sociedad, realizada por el racionalismo y el voluntarismo ilustrado con la excusa de la lucha contra las cadenas de la tradición, es inherente al paradigma mecanicista. La concepción kantiana del tiempo como intuición a priori (espacio del espacio) niega la naturaleza ontológicamente constituyente del tiempo. La complejidad y la radical contingencia del tiempo ontológico (aquella concepción del tiempo como constituyente de lo que hay) es sustituida por el tiempo ilusorio del progreso como una pobre reencarnación desacralizada de la eternidad y la escatología salvífica cristiana.

El único vector que el tiempo del progreso reconoce e incentiva es el de la aceleración. Desconectado del pasado (la tradición) y olvidando en la ilusión del progreso, el futuro; la irresponsabilidad y el inmediatismo encuentran un situación idónea para su proliferación. Una civilización así ni se hace cargo del legado de los antepasados ni se siente tutora del futuro de las generaciones venideras. Sin padres y sin hijos, instalados en la orfandad y la infertilidad, sólo el aquí y el ahora valen, sólo la aceleración del crecimiento (destrucción) y de la producción (explotación) son valorados. La colonización del tiempo es la precondition ontológica y, a la par, la última consecuencia de la colonización de la vida.

Hans Jonas enunció el que es el principio central de la ética ecológica: el Principio de Responsabilidad. Éste viene definido como la obligación moral de hacernos cargo de las consecuencias futuras de nuestras acciones, de ser capaces de prever y evitar los efectos destructivos del presente sobre las generaciones futuras. El mito del progreso representa todo lo contrario, nubla la comprensión del futuro y elude la responsabilidad sobre el presente; es el antídoto contra el Principio de Responsabilidad

Estos cinco horizontes de comprensión y de percepción de la realidad (mecanicismo, humanismo, mercantilismo, tecnocracia y progreso) establecen las condiciones subjetivas (que aparecen como objetivas, en esto reside su naturaleza ideológica) que hacen factible, legítimo y comprensible socialmente, un tipo de relación social con las naturaleza de carácter extremadamente destructivo. La puesta en crisis de esta percepción de lo real no puede ser efectuada sino como puesta en crisis de la totalidad de esta forma de comprender el mundo, es decir, como crisis de civilización. En la

oposición y en la crítica de esta visión del mundo surge el paradigma ecológico.

La crítica filosófica del «alma de un mundo sin alma»

Desde al menos Giordano Bruno hay otra modernidad crítica, o al menos ajena al racionalismo analítico y parcelario y al mecanicismo atomista. El romanticismo supondría en cierta medida una reacción contra el dominio del humanismo racionalista y antropocéntrico. Marx realizó una operación de inversión materialista e historicista de la dialéctica hegeliana tratando de escapar de cerco filosófico del idealismo alemán. Suya es la expresión que califica al mundo de la técnica y del capital como «un mundo sin alma». Pero la crítica marxista del capital estaba infestada fatalmente de la ilusión tecnocrática y progresista. Marx acertó a detectar la alienación mercantil de lo social pero no pudo ver la alienación social de la naturaleza.

Por otro lado, el modelo científico dominante encontró en la crítica fenomenológica del último Husserl un punto focal con la recuperación del problema y de la pregunta por el sentido. Husserl también reclama la recuperación del espíritu de una epistemología que parece, definitivamente, haber cobrado una autonomía sin límites hasta incurrir en el absurdo. La consigna fenomenológica de «ir a las cosas mismas» debe ser interpretada también como un intento de escapar del estrecho marco del idealismo y el racionalismo hegemónico en el paradigma científico y filosófico dominante (Husserl, E., 1994).

De esta matriz fenomenológica surgió un potente pensamiento crítico con la modernidad y la racionalidad científico-técnica en la obra de Martín Heidegger. La colonización y el dominio de la naturaleza y del ser por obra de la racionalidad científico-técnica es deconstruida en la crítica de Heidegger con una radicalidad y novedad hasta él desconocidas en el pensamiento occidental. El «olvido del ser» que realiza la ontoteología y la metafísica tradicional (el pensamiento teológico y filosófico occidental desde Platón hasta el idealismo racionalista) encuentra en la racionalidad científico-técnica su culminación final con la reducción del mundo y de la tierra a mero cálculo y objetualidad cuantificable. La novedad de la crítica de Heidegger reside en gran medida en dos cuestiones: una, la on-

tologización del tiempo; y dos, el pensamiento analítico-parcelario, causante de la destrucción de la vida, no aparece como producto de una ruptura con la tradición sino como su culminación. (Foltz, B.V., 1995) (Taylor, C., 1997). El pensamiento de Heidegger sería en gran medida la fuente de gran parte de la filosofía crítica posterior en especial de la llamada escuela de Frankfurt. Autores como Walter Benjamin, Adorno y Horkheimer, o Herbert Marcuse, siguiendo la senda abiertas por Marx, Freud o Heidegger, construyeron una potente crítica a la alienación del individuo en el seno del capitalismo desarrollado, tecnocrático y consumista.

En la tradición anglosajona surgió también una crítica de menor calado filosófico, si se quiere, pero muy vinculada a las ciencias sociales y a la experiencia cotidiana de la crisis ecológica. En este aspecto destaca la figura de L. Munford, que fue uno de los precursores de la crítica a la sociedad tecnocrática y sus efectos ecológicos. Gregory Bateson aportó una visión ecologizada de la teoría de sistemas. Entre otros trabajos decisivos de orientación multidisciplinar ha sido capaz de formular una epistemología sistémica y ecológica capaz de introducir del enfoque y el pensamiento sistémico en las ciencias sociales (Bateson, G., 1993). Por último es también digna de reseñar la innovadora obra de Arnold Leopold, uno de los primeros éticos ambientales y pionero del pensamiento y la acción ecologista en Estados Unidos.

El paradigma ecológico

El paradigma ecológico se construye sobre la base de numerosas aportaciones provenientes tanto de la crítica de los modelos dominantes (paradigma mecanicista) como de la aparición de nuevas disciplinas científicas. En este apartado hemos optado por resumirla en las aportaciones de tres disciplinas como son la ecología, la termodinámica y la teoría de sistemas.

La ecología como ciencia

El nacimiento de la palabra «ecología» se la debemos a E. Haeckel, discípulo de Darwin, que en 1866 usó por vez primera el término para sustituir a la palabra biología. Esta sustitución, aunque pueda seguramente deberse a motivaciones bastante azarosas, no deja de

ser todo un símbolo del futuro que le aguardaría a la nueva ciencia como evolución de la antigua biología taxonomista y mecanicista.

Haeckel acuñó hasta cinco definiciones del término ecología que describen la evolución original del concepto:

1. «Ciencia del hábitat o de las comunidades» (Acot, P., 1990). En esta primera definición se hace especial hincapié en el aspecto sistémico y totalizador de la ecología (el hábitat) o la interrelación (las comunidades).
2. «Por ecología entendemos la totalidad de las ciencias de las relaciones del organismo con el medio, que comprenden, en sentido amplio, todas las condiciones de existencia» (Acot, P., 1990). En esta definición se incorpora el concepto de relación y el de ambiente. La idea de ambiente representa un concepto más amplio y abstracto del sistema natural que la de hábitat o comunidad. La interdependencia y la interacción entre organismo y ambiente son cualidades de la ecología incorpora al paradigma ecológico.
3. «La ecología o distribución geográfica de los organismo [...] la ciencia del conjunto de las relaciones de los organismos con el mundo exterior ambiental, con las condiciones orgánicas e inorgánicas de la existencia; lo que se ha llamado la economía de la naturaleza, las relaciones mutuas de todos los organismos vivos en un único lugar, su adaptación al medio que los rodea, su transformación a través de la lucha por la vida, los fenómenos del parasitismo, etcétera» (Acot, P., 1990). La influencia de la biogeografía en esta definición es notable en cuanto que incorpora «las condiciones inorgánicas de la existencia». También hace referencia directa a conceptos darwinistas como son los de «adaptación» o «lucha por la vida» que remiten directamente a la teoría de la selección natural.
4. «La ecología es el estudio de las interacciones complejas a las que Darwin se refiere mediante la expresión de condiciones de lucha por la existencia». (Acot, P., 1990). En esta cuarta definición Haeckel establece un vínculo directo entre las interacciones complejas (relaciones, interdependencia) y la selección natural darwiniana. Es decir, las relaciones entre organismo y ambiente, la vida interior en los hábitats y las comunidades está presidida

por una regla de hierro: la selección natural («las condiciones de lucha por la existencia»).

5. «El conjunto de las múltiples y diversas relaciones entre animales y plantas, y de éstos con el mundo exterior, todo lo que concierne a la ecología de los organismos (Acot, P., 1990). En esta última definición se añade una visión de la ecología como una categoría observacional, aplicable a distintos niveles y escalas (ecología de poblaciones, de biorregiones, de comunidades, de hábitat o de organismos). Por último aporta también una interpretación pre-sintética de la evolución, entendida ésta como el resultado de las interacciones basadas en la adaptación al ambiente y la herencia genética.

Por medio de estas cinco definiciones de Haeckel podemos observar las notas fundamentales que van a definir el giro ecológico que la irrupción tanto de la ecología como ciencia, como de la crisis ecológica como horizonte problemático y del ecologismo como movimiento social introducirán en la epistemología y, en general, en la visión del mundo, de la que nace el concepto de sostenibilidad que es uno de los objetivos operativos más importantes del pensamiento ecologista.

El segundo principio de la termodinámica: la lógica de la finitud y de la irreversibilidad

Junto con la aparición de la ecología como ciencia, es la termodinámica la disciplina científica que más ha contribuido al «giro ecológico». Y en especial el denominado «segundo principio» de la termodinámica (el principio de la entropía). Si la ecología ha contribuido a comprender las formas y las reglas de los seres vivos, de la biomateria, la termodinámica nos hace comprender las leyes de la última fuente de la vida y de la materia: la energía.

Todo comienza, a principios del siglo XVI, con la necesidad de construir máquinas térmicas. Hasta esos momentos las fuentes de energía mecánica eran exclusivamente las endosomáticas (la fuerza corporal de hombres, mujeres y animales), la energía hidráulica (molinos de agua) y la energía eólica (velas para la navegación y los molinos de viento para el grano).

La necesidad creciente de madera, motivada por el comercio y los viajes atlánticos, para la construcción naval llevó a explotar los

yacimientos de carbón mineral que se conocían desde la antigüedad pero que casi no se usaban, pues era más sencillo quemar la madera. Sin embargo la explotación del recurso carbón implica la necesidad imperiosa de poder bombear el agua que normalmente abunda en estas minas. Sin una fuente adecuada de energía mecánica la profundidad máxima a explotar en una mina quedaba muy limitada. Este cambio dará lugar a la aparición de la máquina de vapor.

El primer intento fue la Máquina de Sávery a inicios del siglo XVII. Es la primera máquina a vapor práctica que sólo sirve para bombear agua. La eficiencia de esta primera máquina es muy baja, pero permitía bombear agua desde las minas de carbón. A medida que la máquina de vapor adquiere utilidad se empieza a plantear el problema de cuánto es el máximo rendimiento que puede obtenerse con una máquina de este tipo. Es de esta forma como llegamos a Carnot, que en el siglo XIX llegó a formular el segundo principio: «No es posible construir una máquina cíclica y motriz que sólo haga subir un peso y enfriar una fuente única de calor». Carnot buscaba conocer las claves técnicas para mejorar el rendimiento que definía como: $n = w/q$. En que W es el trabajo mecánico producido por la máquina y Q el calor absorbido por la máquina. La termodinámica surge pues sobre preocupaciones técnicas muy precisas y ligadas a la búsqueda de rendimiento de las máquinas térmicas (básicamente la máquina de vapor). Pero la termodinámica contiene un primer principio denominado de la conservación de la energía y que en su definición más vulgarizada dice así: «La energía ni se crea ni se destruye sólo se transforma», pero dicho de forma más exacta podemos decir que las cantidades de energía almacenadas en un sistema son iguales a las cantidades de energía intercambiadas dentro de un sistema determinado.

Para entender mejor esta formulación del primer principio de la termodinámica es conveniente describir los tres tipos de sistemas posibles en cuanto al intercambio de materia y energía con el ambiente. Tenemos sistemas abiertos (intercambian materia y energía con el ambiente, así se comportan muchos de los ecosistemas naturales), sistemas cerrados (sólo intercambian energía y no materia, éste es el caso del planeta Tierra) y, por último, sistemas aislados (no intercambian ni materia ni energía, se trata de sistemas artificiales creados en laboratorio).

Para un sistema cualquiera, la energía que entra (E) es igual a la energía que sale (E') más la variación de energía dentro del sistema (V) ($E = E' + V$). En el caso de los sistemas abiertos hay que calcular la energía que entra y sale en las masas de materia. Por el contrario en los sistemas cerrados este cálculo es mucho más simple pues sólo se ha de tener en cuenta las cantidades de calor y de trabajo intercambiado y las variaciones de la energía interna, cinética y potencial.

La primera ley de la termodinámica refleja el aspecto cuantitativo de la energía pero es incapaz de dar cuenta de aspectos cualitativos en la transformación del calor en trabajo y del trabajo en calor. Pues hay procesos que tienen lugar en una dirección o sentido determinado pero son imposibles en una dirección inversa. Así la energía que hemos proporcionado en forma de trabajo eléctrico al llegar a una resistencia produce calor, pero ese mismo proceso no se da a la inversa (el calor de la resistencia no es capaz de producir trabajo eléctrico). De igual manera, si colocamos dos sistemas a diferente temperatura, sabemos que pasa calor del de mayor temperatura (disminuyendo así la energía interna) al de menor temperatura (aumentando la energía interna), pero este mismo proceso de transformación y de transferencia no es posible en sentido inverso de manera espontánea: dos sistemas a igual temperatura no se modifican uno a otro la energía interna de forma espontánea.

Estos ejemplos no son explicables a partir de la primera ley de la termodinámica (conservación), es necesario un nuevo principio y ésta es la segunda ley de termodinámica, que tiene una primera definición histórica (la ya mencionada de Carnot) y otras posteriores, y totalmente equivalentes, como son la de Clausius (para las bombas de calor) y la del Kelvin-Planck (válidas para las máquinas térmicas).

La definición de Kelvin-Planck afirma que: «No es posible que una máquina térmica, funcionando cíclicamente, produzca trabajo intercambiando calor con una sola fuente térmica» La definición de Clausius nos dice: «No es posible una bomba de calor que, funcionando cíclicamente, produzca trabajo intercambiando calor con una sola fuente térmica».

De estas tres formulaciones (Carnot, Clausius y Kelvin-Planck) de la segunda ley de la termodinámica se deduce el principio de entropía: o la tendencia creciente a la degradación de la calidad (u

orden) de la energía en cada proceso de transformación de ésta. En cada transformación se produce un cierto grado de pérdida o degradación de la energía disponible.

Por el contrario, la variable de la exergía mide la calidad de la energía que se emite al ambiente. La exergía es el grado de energía del total de energía introducido en un sistema que es utilizable o disponible en forma de calor. Desde un criterio ecológico la exergía es un indicador muy relevante, pues mide el volumen de energía (calor) de baja calidad que es emitido al ambiente y que al estar disponible para su reutilización se torna contaminante con un alto impacto ambiental.

Un sistema o una máquina serán más eficientes en el grado en que generen menos entropía y más exergía. La eficiencia es el indicador de rendimiento desde un punto de vista termodinámico. Un sistema o una máquina que sea poco eficiente (muy entrópico y poco exergético) será un sistema más insostenible (durará menos y dañará más el ambiente) que otro que sea más eficiente (menos entropía y más eficiencia). En todo caso, la termodinámica nos enseña que ningún sistema o máquina puede obtener un rendimiento 0 de entropía y 1 de exergía (por cada unidad que entra sale una unidad de energía disponible).

Las dos leyes de la termodinámica implican una serie de constantes de la energía aplicables también a la materia viva:

- La finitud de la energía y de los recursos naturales (conservación).
- La irreversibilidad de los transformaciones energéticas y de los proceso de cambio de los seres vivos.
- La pérdida que se produce en todo proceso de transformación de la energía y de la materia viva en general (la tasa decreciente marginal).

La termodinámica nos muestra una representación de la naturaleza, de la vida y de la energía marcada pues por la finitud, la irreversibilidad y la entropía (coste y degradación) inevitablemente unida al cambio y al movimiento. El «giro ecológico» se nutre de esta segunda fuente conceptual que junto con la ecología diseñan las estructuras del paradigma ecológico.

¿Pero el proceso de degradación entrópico es un proceso irreversible en todos los sistemas? En un sistema aislado la entropía es creciente e irreversible y la muerte térmica fatal. Si interpretamos el universo como un sistema aislado, la entropía de éste es creciente, irreversible y fatal. Pero dentro de un sistema cerrado o abierto hay una posibilidad de darle la vuelta al proceso entrópico: la neguentropía. Esto es lo que hacen las plantas por medio de la fotosíntesis. La neguentropía consiste en disminuir la entropía interior del sistema aumentando la entropía exterior del ambiente (expulsar entropía hacia fuera). Se trata de una neguentropía local pero que puede resultar muy efectiva para el mantenimiento de sistemas locales cerrados o abiertos. La sostenibilidad consiste, en gran medida, en imitar estos sistemas naturales de producción de neguentropía aplicándolos a sistemas sociotecnológicos artificiales (fotosíntesis industrial).

Un economista, físico y teórico ecologista, Georgescu-Roegen, logró elaborar una teoría ecológica de la economía a partir de la aplicación de las leyes de la termodinámica, en especial del segundo principio, a la economía y a la ecología. (Georgescu-Roegen, N., 1996). El filósofo francés George Bataille desarrollará por medio de la teoría del «derroche improductivo» un correlato antropológico de las tesis termodinámicas de Georgescu-Roegen. La obra de Georgescu-Roegen describe los límites, las reglas y la lógica de una ontología ecológica del mundo físico.

La teoría de sistemas

La ecología junto con la teoría de la evolución y la termodinámica han contribuido de manera esencial a la introducción del tiempo y de la complejidad en la percepción y representación científica de los sistemas biológicos. La ciencia mecanicista tenía una visión simplificadora y reduccionista (átomos, fuerzas), e inmutable de la naturaleza y la materia (la mecánica celeste). Pero esta introducción del tiempo y de la complejidad no se produce de igual manera entre la teoría evolucionista y la termodinámica: mientras que el darwinismo representa la evolución como un progreso en ascenso de crecimiento en la complejidad y el orden; la termodinámica contempla la evolución como un proceso de degeneración creciente y de entropía en aumento. Esta aparente contradicción complica la comprensión sobre las influencias de estas disciplinas en la conformación del pa-

radigma ecológico, pues éste ha recibido influencias determinantes tanto del evolucionismo ecológico como de la termodinámica. ¿Que es entonces el paradigma ecológico un paradigma optimista (evolucionista) o pesimista (termodinámico)? ¿Quién tenía razón Carnot o Darwin? ¿La evolución progresa hacia la complejidad o avanza hacia el caos entrópico?

La respuesta ecológica a este dilema hay que situarla en el marco de la tercera aportación relevante al «giro ecológico»: la teoría de sistemas. Desde la Teoría General de Sistemas de Bertalanffy hasta la teoría de los sistemas sociales de Luhmann, la teoría de sistemas ha construido un potente instrumental conceptual capaz de dar cuenta de la interrelación entre complejidad, sistemas y entropía. Utilizaremos las tesis de Luhmann para considerar este problema y con ello avanzaremos los fundamentos de una teoría ecológica de los sistemas (Bertalanffy L. van, 1976) (Luhmann, N., 1998).

Un sistema es una organización de elementos cuya finalidad es el control y la reducción de la complejidad de un entorno. No hay sistema sin entorno. Y no hay sistema sin un diferencial negativo de complejidad con respecto al ambiente (el sistema es siempre menos complejo que el entorno). Todo aumento de complejidad conlleva necesariamente un aumento de entropía paralelo. El sistema reduce la complejidad ambiental a costa de aumentar la complejidad interna (reduce por tanto la entropía ambiental a condición de aumentar su complejidad interior). La complejidad, en cuanto conlleva un grado mayor de elementos y de interacciones entre estos, comporta un mayor coste y una mayor generación de entropía. La evolución de un ser vivo implica aumento de complejidad para controlar la complejidad ambiental.

La teoría de sistemas ha posibilitado un marco conceptual integrado y holístico que permite interconectar, de forma operativa, dentro de un mismo programa teórico conceptos provenientes de la teoría de la evolución (adaptación, selección, evolución, morfogénesis), de la ecología (ecosistema, medio, entorno, ambiente, interdependencia, relación, equilibrio, estructura, frontera o ecotono, función, organización circular, sinergia, autopoyesis, variabilidad) y de la termodinámica (energía, entropía, exergía, neguentropía). Este ensamblaje metateórico se realiza sobre los ejes de tres conceptos centrales.

El primer concepto es el de sistema que viene definido por las propiedades emergentes que nacen de su relación e interacción con los elementos. Estas propiedades emergentes no son la simple suma aritmética de las propiedades de los elementos sino que otorgan una identidad propia y singular al sistema en cuanto tal. Por tanto lo determinante en el sistema no es tanto su universo (el conjunto de elementos que lo componen) cuanto su estructura (la relaciones estables entre esos elementos). La teoría de sistemas es pues panrelacional y no atomista.

Y es en la estructura donde nace el segundo concepto central, la complejidad que no es meramente cuantitativa aditiva (número de elementos) sino también relacional (número de relaciones efectivas y potenciales) y cualitativa (número y tipos potenciales y efectivos de estados posibles del sistema como resultado de las interacciones entre los elementos).

El tercer concepto básico de la teoría de sistemas es el de medio, entorno o ambiente (umwelt). Este término es común tanto a la ecología como a la termodinámica y está descrito como el conjunto de sucesos y de condiciones que influyen sobre los estados y los comportamientos de un sistema. El ambiente es siempre, como ya hemos dicho, más complejo que el sistema, pero dicha complejidad aparece ante el sistema como desorganizada y caótica (con un alto nivel de entropía). El hecho de que el ambiente sea caótico sólo en relación a un determinado sistema es debido a la naturaleza observacional de las categorías de la teoría de sistemas. Esto no es contradictorio con el concepto de entropía termodinámico pues, como hemos indicado anteriormente, éste era un concepto cualitativo en virtud del uso y disponibilidad de la energía. El ambiente se define por dos variables: una cuantitativa (mayor complejidad que el sistema) y otra estrictamente cualitativa (una complejidad desorganizada y caótica frente al sistema). Los sistemas intentan por medio de la organización captar la máxima información del ambiente y expulsar la máxima entropía hacia este mismo ambiente.

Veamos un ejemplo de aplicación de la teoría de sistemas a la comprensión de la crisis ecológica. Un sistema abierto no tendrá grandes problemas de sostenibilidad pues intercambia materia y energía con el ambiente y puede cumplir la doble función de extraer orden (materia, energía, información del ambiente) y expulsar des-

orden (residuos, calor energía degradada). Más complicado lo tiene un sistema cerrado, e imposible, un sistema aislado. La Tierra, la biosfera, es un sistema cerrado de tal modo que las posibilidades de expulsar la entropía hacia el ambiente del sistema son muy limitadas y el esfuerzo ha de dirigirse hacia la reducción en la producción de entropía y hacia el fomento de la negentropía. Pues lo que en ecología denominamos ambiente (la atmósfera, el suelo, los otros ecosistemas, etcétera) es en realidad una parte interna del sistema cerrado que es la tierra. Por tanto, cualquier aumento de la entropía de la atmósfera supone un aumento de entropía interna del sistema Tierra.

Hemos caracterizado a la Tierra como un sistema cerrado (intercambia materia pero no energía con el ambiente) y por tanto no como un sistema aislado (entonces la vida hubiese sido imposible en el planeta) y no como un sistema abierto (la Tierra no puede extraer materia del ambiente y tiene que disponer de la materia existente en el interior del sistema). Esta materia sometida a procesos de transformación implica degradación entrópica (pérdida de calidad) por medio de la pérdida de rendimiento, el aumento de la toxicidad y de los residuos: Este proceso ocurre tanto en tierras para uso agrícola, en la pérdida de biodiversidad o en el empeoramiento de la calidad de las aguas. El sistema del planeta Tierra sí puede extraer energía del ambiente (y de ahí proviene la inmensa mayoría de las fuentes energéticas utilizadas como la madera, el carbón o el petróleo) pero no puede expulsar energía sobrante y degradada (calor) y no puede, porque mantiene unas fronteras rígidas (por medio de una campana calorífica) que evitan la fuga del calor y crean las condiciones climáticas que han hecho posible las formas de vida imperante en la Tierra. Por tanto, las fronteras cerradas del sistema Tierra que hacen posible la vida son también la trampa fatal para la expulsión de la energía degradada al ambiente.

Si descartamos que el sistema Tierra pueda expulsar materia y energía degradada (residuos) hacia el ambiente por los costes y los riesgos que conllevaría, entonces lo más probable es que se produzca una situación de colapso, agotamiento y calentamiento del sistema (un aumento peligroso de entropía interior). ¿Cómo es posible que la Tierra haya sobrevivido a pesar de esa imposibilidad de expulsar la energía y la materia degradada? Por medio de un mecanismo natural de negentropía: la fotosíntesis que realizan las masas forestales

y vegetales. Pero la producción industrial de calor ha superado en volumen y tiempo la capacidad de neguentropía de los subsistemas vegetales de la tierra y el efecto invernadero ha elevado la temperatura media del planeta: es lo que se denomina el cambio climático.

Si hemos seguido el recorrido de este ejemplo podemos ver cómo la teoría de sistemas es un instrumento magnífico para la comprensión de los mecanismos que desatan la crisis ecológica. A la pregunta original sobre quién tenía razón, si Carnot o Darwin, tenemos que responder que ambos, y por ello es posible y necesario el desarrollo sostenible. Si Carnot sólo tuviera razón la sostenibilidad sería imposible. Si, por el contrario, fuera Darwin al que finalmente le asistiera el acierto, entonces, la sostenibilidad sería innecesaria e implantable. Pero como la vida es un proceso continuo de tensión entre la evolución hacia la complejidad y hacia la entropía, las estrategias de desarrollo sostenible son necesarias y posibles.

En lo que se refiere a la integración del enfoque y de la teoría sistémica en el paradigma ecológico, hay que destacar tres autores. En primer lugar el ya citado G. Bateson, que contribuyó a la formación de una teoría ecológica de los sistemas simbólicos (lenguaje, mente, comunicación, cultura, etcétera). En segundo lugar, el filósofo, antropólogo y sociólogo francés Edgar Morin. Este autor ha realizado una obra enciclopédica donde ha tratado de sentar las bases para un nuevo método, una «ciencia con conciencia», centrada en la relación y la complejidad capaz de dar lugar a un pensamiento ecologizado (Morin). Por último la obra del físico norteamericano F. Capra ha contribuido a construir una teoría ecológica general de los sistemas vivos (incluido los sistemas sociales), donde se propone una nueva síntesis entre las distintas ciencias sociales, formales y físicas (Capra, F., 1998).

De la ciencia posnormal al principio de precaución

Como hemos tratado de mostrar hasta aquí, el pensamiento ecologista no se ha limitado a ejercer una crítica radical a la racionalidad científico-técnica, al humanismo al antropocentrismo o a la tecnocracia, sino que ha elaborado un corpus teórico alternativo. El paradigma ecológico es el resultado de todo este enorme esfuerzo de crítica y de búsqueda de alternativas. Pero el paradigma ecológico

es un paradigma científico. No es una alternativa a la ciencia, sino otra forma de percibir y hacer ciencia. Las diferencias del paradigma ecológico con respecto a otros paradigmas científicos no residen sólo en su corpus teórico interior (la ontología y la epistemología), sino también en la forma en que se relaciona y se autositúa con los otros paradigmas y en la relación con el campo extracientífico (por ejemplo, con lo social y lo político).

Con respecto a los otros paradigmas el tipo de relación que establece no es de superación, ni de sustitución sino de integración y de cooperación. El mecanicismo, el método analítico parcelario o el reduccionismo son integrados dentro del paradigma ecológico como momentos e instrumentos cognitivos útiles y legitimados en cierta disposición y funcionalidad. Por ejemplo, el paradigma ecológico integra la reformulación del principio de causalidad de la mecánica clásica (unidireccional y necesario) a un principio de causalidad contingente, pluralista (polígono causal) y equifinalista (una misma causa produce distintos efectos y un efecto es producto de distintas causas).

La relación con lo social o con lo político es postulada por el paradigma ecológico como una relación de mutua imbricación y sinergia. Alejado del mito de la «inmaculada percepción», como dijo Nietzsche, o de la asepsia valorativa del científico. El paradigma ecológico plantea, como dirán Funtowicz y Ravetz, «una ciencia con la gente» y una «epistemología política» (Funtowicz, S.O. y Ravetz, J.R., 2000).

Estos autores han elaborado una propuesta que denominan un «ciencia posnormal» siguiendo el esquema de transformación y evolución histórica de los paradigmas científicos propuesto por Th. Khun en *La estructura de las revoluciones científicas* (Khun, Th., 2000). La «ciencia posnormal» sería aquella que es capaz de establecer sistemas de evaluación y control, donde la comunidad de evaluación ya no está restringida a la comunidad científica de expertos, sino que se extiende a «la comunidad extendida de pares», es decir, a toda la comunidad.

La ciencia posnormal es la ciencia que ha asumido las consecuencias, la incertidumbre y los riesgos de la crisis ecológica y toma medidas tanto de orden epistemológico como práctico (aplicativo) para garantizar que si las incertidumbres y los riesgos son globales, si

toda la biosfera se ha convertido en un inmenso laboratorio, es toda la comunidad la que debe participar en la evaluación y el control de la ciencia y la tecnología. Funtowitz y Ravetz proponen cambios de orden epistemológicos: modificar la relación entre hechos y valores, fomentar el pluralismo axiológico y estratégico, introducción de la incertidumbre y de los procesos caóticos, enfoque sistémico, articulación de métodos cualitativos y cuantitativos, etcétera. Y en el plano de la evaluación, introduciendo una redefinición del concepto de calidad al que sitúan en el centro de la valorización científica-técnica.

La calidad de la ciencia y de la tecnología tiene dos planos: interno y externo. La calidad interna viene medida por valores de habilidad, eficacia, eficiencia, es decir, de valores internos a la comunidad restringida de los expertos y de la práctica científica. El modo en que la ciencia posnormal integra modelos de evaluación de la calidad tan distintos es, a su vez, un modelo de integración que el paradigma ecológico realiza con postulados y métodos provenientes de paradigmas extraños. Funtowitz y Raetz ponen como modelo ejemplar de ciencia posnormal a la economía ecológica.

Uno de los principios centrales de la ciencia posnormal es el principio de precaución según el cual la ausencia de certidumbre, habida cuenta los conocimientos científicos y técnicos del momento, invalida el desarrollo cuyo efecto sobre el medio ambiente y la salud puede conllevar riesgos de daños graves e irreversibles. La aplicación de este principio implica que la carga de la prueba está invertida y que es aquel que quiere introducir una nueva tecnología, sobre cuyas consecuencias existe un alto nivel de incertidumbre y una sombra de riesgo verosímil, el que debe probar su inocuidad. Este principio es un desarrollo concreto del principio de responsabilidad de H. Jonas que establece cuáles deben ser las prioridades éticas a la hora de la toma de decisiones científicas y técnicas que pueden hipotecar el futuro y dañar irreversible y fatalmente a las generaciones venideras y a otras muchas formas de vida. Esta simbiosis entre epistemología (ciencia posnormal) y ética (principio de responsabilidad) en la elaboración y el uso del principio de precaución es otro buen exponente del modo integrador de operar del paradigma ecológico.

El paradigma ecológico no se detiene, como hemos podido ver, en las fronteras tradicionales de los paradigmas científicos, sino que

establece un fructífero intercambio y diálogo con los movimientos sociales y las comunidades de ciudadanos. El paradigma ecológico no es imaginable sin un movimiento social y un pensamiento ético y político crítico y alternativo. A lo largo de todo el siglo XX se ha venido forjando una potente conciencia sobre los límites del crecimiento y los efectos indeseables y catastróficos del modelo de desarrollo puesto en marcha en la industrialización. Esta crítica social, política y ética al crecimiento y al despilfarro ha estado estrechamente vinculada con la aparición de movimientos sociales ecologistas que han llevado al ámbito de la lucha social y política los conceptos y los instrumentos de análisis que el paradigma ecológico había introducido.

El impacto del paradigma ecológico en las ciencias en general y en especial en las ciencias sociales ha sido creciente. La sociología, la psicología, la economía, el derecho han sido revisados y reformulados desde la visión ecológica del mundo que el paradigma ofrece. Las mismas ciencias naturales han sufrido también la influencia del paradigma ecológico de tal modo que no existe hoy campo del conocimiento científico donde la perspectiva ecológica no esté presente en un grado o en otro.