

La degradación de la energía y la termodinámica de la vida¹

Hildebrando Vélez

CENSAT Agua Viva – FoE (Colombia)

Colombia 2002

La tensión entre equilibrio y movimiento está presente en las maneras como se enfrentan hoy los problemas del conocimiento. Ahora, más que la búsqueda de funciones o relaciones matematizables, que rigen para sistemas estables, se incorporan ideas como los sistemas en condición alejada del equilibrio, que traen cambios en las teorías de la termodinámica tanto como en la manera de aproximarse al conocimiento de la acción social.

Hay preguntas que se abren desde la termodinámica, cuyas leyes penetran las ciencias sin exclusión de las ciencias humanas. Así lo reconoce Serres cuando dice que la filosofía al olvidar el discurso de la termodinámica perdió la posibilidad de acompañar los cambios en el paradigma que ella incubaba y, sólo ahora, de retorno a la termodinámica, las ciencias fortalecen su capacidad de invención. Dejémoslo en palabras del autor:

[...]dos circunstancias acaban de despertar este olvido. La primera es el gran retorno de la termodinámica en las disciplinas con fuerte capacidad de invención: teoría de la información, biología, estudio general de los sistemas abiertos, etc. La segunda es la certeza, cada vez mayor, de que los modelos dominantes en las ciencias humanas están a menudo, por no decir siempre, modelados a su vez según esquemas fundamentales de termodinámica.²

Ahora bien, por el momento estamos buscando establecer las formas como se da la degradación del mundo físico-biótico y para ello hemos de acudir a la

¹ VELEZ, H, 2001, en *Ética para una sociedad ambientalista*, Bogotá, en edición.

² SERRES, Michel. *El paso del...*, *Op. Cit.*, p.145.

termodinámica. Familiaricémonos brevemente con sus leyes³. Hay un principio, llamado también ley cero, que establece la base para la medición de las temperaturas y dice que dos sistemas que están a igual temperatura respecto de un tercero, estarán también a igual temperatura entre sí. La primera ley de la termodinámica⁴ es sólo una expresión cuantitativa del principio de la conservación de la energía. La segunda ley se refiere a la entropía, que es una propiedad intrínseca de los sistemas y dice que ella, la entropía, tiende a cero en los procesos que tienden a la reversibilidad, lo cual significa que la entropía aumenta con la irreversibilidad; entonces a mayor desorden mayor entropía, la entropía es una medida de la tendencia del universo al desorden. Veámoslo, como lo expresa Lovelock:

La primera ley de la termodinámica se refiere a la energía, en otras palabras, a la capacidad de realizar trabajo. Este principio dice que la energía se conserva[...] La segunda ley habla de la asimetría de la naturaleza. Cuando el calor se transforma en trabajo siempre se desperdicia algo. La redistribución de la cantidad total de energía en el universo tiene una dirección[...] los objetos calientes se enfriarían pero los objetos fríos nunca se calientan espontáneamente.⁵

Ahora bien, si la energía se conserva, ¿por qué nosotros no usamos nuevamente la misma energía después de que ha atravesado el sistema tecnológico humano? Las leyes de la termodinámica se empeñan en explicarlo.⁶ En la primera ley podría considerarse que estas intervenciones tecnológicas son contingentes y que el flujo material puede, de hecho y fácilmente, ser cerrado.

³ Cf. MARK, Melvin, *Termodinámica*, Marymar, Buenos Aires, 1973.

⁴ Cf. ABBOT, M. y Van Nees, H., *Termodinámica*, McGraw-Hill, Colombia, 1975

⁵ LOVELOCK, James, *Las edades de Gaia*, Tusquets, Barcelona, 1993, ps.34, 35.

⁶ Cf. JAKSON, Tim, *The unfinished Symphony. An evolutionary perspective on conception of sustainable development*, Reader in Environmental Management Centre for Environmental Strategy, University of Surrey. 1999.

Es la segunda ley la que impone constreñimientos cualitativos a la energía y los flujos de materia que no son revelados por la primera ley. A ella concierne la *calidad* o *disponibilidad* de energía y la manera como ésta cambia durante el proceso de transformación. En su forma temprana más familiar declara que el calor no pasará espontáneamente de un cuerpo frío a uno más caliente. Esto equivale a decir que -a pesar de la ley de conservación- es imposible transformar energía calórica (a una temperatura uniforme) en una cantidad equivalente de trabajo. En la escena que se dibuja se degradan los estados de energía continuamente (desde los de alta calidad a los de baja calidad o, equivalentemente, de una disponibilidad alta de energía a una baja disponibilidad) a través del proceso de transformación. Aunque la misma cantidad de energía existe antes y después de la transformación, una cierta proporción de la energía disponible ha sido *disipada* a través del proceso de transformación y no es suficiente la disponible para realizar trabajo alguno o para comprometerle en transformaciones subsecuentes. En consecuencia, en un sistema aislado, esto significa que el sistema se mueve más y más hacia un estado de equilibrio termodinámico, en el que ninguna energía está disponible para realizar trabajo alguno y, en consecuencia, toda la actividad debe cesar. Correspondientemente, el mantenimiento de un sistema lejos de esta posición de equilibrio es fuente de entrada continua de energía (disponible) de alta calidad. Lo dicho es lo mismo que afirma Augusto Angel al describir la pirámide de la vida:

[...] la pirámide de la energía mantiene siempre su figura normal[...] La energía no surge de la nada sino que es transmitida de nivel a nivel y necesariamente la productividad de los niveles superiores depende de la velocidad de producción del nivel inmediatamente inferior.⁷

⁷ ANGEL M, Augusto, *La trama de la vida*, Tempora, Bogotá, 1993, p. 24.

Se llaman *cadena trófica* estos movimientos de energía de unas especies a otras a lo largo del proceso de alimentación. En estos procesos la cantidad de energía disminuye a medida que se transmite de escalón en escalón.

A pesar de que los ecosistemas pueden seguir recibiendo energía solar, la destrucción de los mecanismos de transformación natural de esta energía conduce a un rápido empobrecimiento de su calidad. El sistema tecnológico humano, en la modernidad, ha hecho que la energía sea degradada de manera acelerada, conduciendo a los ecosistemas locales y al ecosistema general a una condición de muerte *antinatural*.

La termodinámica deja observar que es posible la autorganización y la creación de nuevas estructuras complejas como resultado del comportamiento apropiado de las de *estructuras disipativas*. Prigogini⁸ distingue entre <<equilibrio>>, <<no equilibrio>> y situaciones <<lejos del equilibrio>>. Cerca del equilibrio las estructuras se destruyen, siguiendo el principio de Boltzmann, y tras perturbaciones el sistema regresa al equilibrio. Lejos del equilibrio hay inestabilidad, bifurcaciones, irreversibilidad. Cualquier perturbación conduce a nuevas estructuras. Los sistemas vivos tienen mecanismos de autorregulación, pues esas nuevas estructuras poseen espectaculares formas organizativas, son estructuras que transforman las entradas de energía de buena calidad, de energía solar, en formas de vida y, se podría decir, expulsan la entropía producida. Esta es la dinámica de reproducción de la vida. Es la manera como opera la tarea esencial al mantenimiento y supervivencia de organismos individuales y del ecosistema en conjunto, y se da un peso significativo al requisito de disponibilidad de energía de calidad para la vida. Cada organismo viviente simplemente exige un suministro constante de energía de calidad alta para continuar viviendo y, en términos termodinámicos, la fotosíntesis debe considerarse como el proceso productivo más importante en la Tierra. No sólo es la fuente última del suministro de energía de alta calidad para los ecosistemas, sino también para casi todos los procesos tecnológicos humanos.

⁸ Prigogini, *Op. Cit.* p. 24.

No obstante las maneras como se dan las interacciones entre los seres vivos y su entorno y el alcance de los efectos recíprocos, la característica de la vida sigue siendo su capacidad para producirse a sí misma, la *autopoiesis*. Se trata de la capacidad para tomar energía del entorno y transformarla conforme a sus propiedades y dinámicas específicas según los niveles de organización de la materia y la energía. En general, sostienen Varela y Maturana,

[...] lo que es propio [a los seres vivos] es que en ellos la determinación y el acoplamiento estructural se realizarán en el marco de la continua conservación de la autopoiesis[...] El continuo cambio estructural de los seres vivos con conservación de su autopoiesis está ocurriendo a cada instante, continuamente, de muchas maneras simultáneamente. Es el palpitar de toda la vida.

[...] Los cambios estructurales que de hecho se dan en una unidad aparecen como “seleccionados” por el medio mediante el continuo juego de las interacciones. Y como consecuencia en el medio puede verse como un continuo “selector” de cambio estructural que el organismo sufre en su ontogenia[...]⁹

En resumen, los ecosistemas son manejados y regulados por principios termodinámicos. La alta calidad de energía solar que ingresa mantiene los medios para las transformaciones neguentrópicas¹⁰ necesarias para la producción y mantenimiento de complejos y ordenados sistemas. Al mismo tiempo, las limitaciones en la disponibilidad de esta energía regulan los niveles de actividad dentro del ecosistema.

Dentro de esta perspectiva biofísica, el destino de todas las criaturas vivientes es esforzarse por la existencia en un ambiente natural, que está estrictamente limitado en su dotación de materia y energía. La movilidad, comida, reproducción, defensa y resguardo son todos adquiridos como un premio por el que cada uno de ellos pagó un suministro estrictamente limitado de energía

⁹ MATURANA, H. y VARELA, *Op. Cit.*, ps. 84-85.

¹⁰ Neguentropía es el inverso aritmético de entropía y mide el nivel de ordenamiento de la materia viva.

disponible. No hay ser alguno que pueda optar por la vida fuera de este marco termodinámico. Incluso el organismo más simple requiere una fuente constante de energía de alta calidad simplemente para mantenerse vivo. Este forcejeo por la existencia es el forcejeo por la energía disponible.

Cada nivel de energía da lugar a la constitución de estructuras. Son niveles dentro de niveles, sistemas dentro de sistemas, cada uno es parte de un todo sin perder identidad. Cada nivel, cada sistema plantea problemas que no se dan en ningún otro¹¹. Sin embargo, las propiedades de las partes sólo pueden ser comprendidas mediante la comprensión del conjunto como contexto. De ahí que como sostiene Serres, lo viviente

[...] camina hacia el desorden y su disolución, y obedece, por eso mismo, al segundo principio de los sistemas aislados, bate lo reversible como un sistema en equilibrio, sobrevive a las degradaciones por múltiples intercambios de materia, luz e información, con el exterior, como un sistema abierto, se reproduce y se sumerge en la evolución como si contuviera bolsas de neguentropía. No solo es un sistema complejo por el número de sus elementos e interacciones, o por sus múltiples y sucesivas integraciones, sino que es varios sistemas a la vez, está regulado por varias leyes locales, las del aislamiento, del cierre y de la abertura.¹²

La vida no es solamente energía, no es solamente biota o biosfera. El caparazón, las montañas y las rocas son lo que las conchas a los moluscos, también forman parte de la vida. El aire, las rocas y el agua constituyen condiciones para la vida. Estas formas de materia, como los elementos químicos, siendo en el fondo formas de energía, siguen reglas de calidad diferentes a las de la energía que proviene del Sol. Así pues, la Tierra como sistema abierto depende del Sol como fuente de suministro <<permanente>> de energía para conservar la vida, a diferencia de los elementos químicos, parte constitutiva de la vida, que

¹¹ Cf. CAPRA, Fritjof, *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona, 1998, p. 46-49.

¹² SERRES, Michel. *El Paso...*, *Op. Cit.*, p. 79.

están en el entorno en cantidades fijas, como sistemas cerrados. La cantidad de materia en éste como en otros planetas es fija. En los planetas debemos contentarnos con cantidades más o menos estables de materiales.

La naturaleza tiene sus propios mecanismos de reutilización y reciclaje, pero las intervenciones tecnológicas los desconocen o no los reproducen, sino que los destruyen. Sólo en el seno de los ecosistemas cerrados se da el reciclaje de los materiales, sólo allí se puede decir que hay *recursos renovables*, porque como hemos visto, las intervenciones tecnológicas hacen imposible pensar en la existencia de ellos.

Los elementos químicos son además de los ciclos biogeoquímicos las condiciones esenciales para la vida. Muchos de estos procesos son favorecidos por la presencia de bacterias y otros microorganismos foto y quimiosintéticos que fijan el nitrógeno atmosférico añadiéndose su tarea a la de la fotosíntesis. Los ciclos biogeoquímicos son otra de las condiciones esenciales de la vida. La energía limpia se degrada paulatinamente, pero siempre es posible renovarla si fundamentamos el consumo en energía que provenga de nuestra estrella, el Sol. En conclusión, la vida comprende sistemas cerrados, como los relacionados con la disponibilidad de elementos químicos, y posee características de irreversibilidad de los sistemas abiertos que se autoreproducen.

La vida es como se dijo un camino hacia la muerte, pero la muerte no es sino un puente para la vida. La muerte no es la negación de la vida sino solo un puente de paso. No se trata aquí de la resurrección, ni la eternidad, ni del regreso de los fantasmas, es más bien la prevalencia de la vida, la reaparición de las redes de la vida como un reciclaje de la energía y de la materia.

Este movimiento de la vida, este péndulo de la existencia de lo vivo, este vaivén de acontecimientos, este movimiento entre el orden y el caos, es el que nos da la idea del tiempo. Como dice Serres,

Lo que sabemos del tiempo, se lo debemos al cuerpo y a las cosas mismas; al nacimiento y a la muerte, a la siembra y a las cosechas, al trabajo, al envejecimiento, a la fatiga y al desgaste, al consumo y a las basuras, a los astros

que pasan por encima de nosotros. Lo que sabemos del tiempo, se lo debemos a nuestras prácticas y nuestras ciencias aplicadas.¹³

Conocer de los tiempos, de la vida y de la muerte, de las formas como la vida se autorregula y autorganiza si dispone de energía de buena calidad entrópica, es una clave para definir nuestra propia forma de actuar. La continuidad de la vida como la conocemos y apreciamos, dependerá de que no le restemos posibilidades, de que no aumentemos precipitadamente su entropía, de que no nos precipitemos en la caída energética al empleo de energía de baja calidad.

¹³ *Ibíd*em, p. 67.