Capítulo 17

La economía ecológica: el enfoque entrópico

Todo necio confunde valor y precio.
Antonio Machado

La visión económica ortodoxa tiende a ignorar el carácter limitado de los recursos naturales y la vulnerabilidad del ambiente.

Cada vez que se extrae una substancia, material u organismo de la naturaleza quedan huellas de algún tipo en los sistemas naturales: huecos de canteras y minas, napas desecadas, paisajes deforestados, numerosas especies eliminadas. Muchos de estos cambios tienen carácter irreversible. Los minerales extraídos, los suelos de bosques erosionados, los acuíferos secos, las especies extinguidas, a menudo desaparecen para siempre.

Al mismo tiempo, los elementos de la naturaleza que son utilizados en volúmenes y números crecientes por los procesos industriales son transformados en productos y residuos. Los productos son usados o consumidos, generando a su vez más residuos. Al fin de cuenta, todos los recursos naturales se convierten en residuos.

Según los modelos de los economistas industrialistas, parecería que estos residuos que se vierten en el ambiente se reciclaran de alguna manera para volver a aparecer en la cadena productiva como recursos naturales.

En los hechos, esto ocurre naturalmente, aunque en forma parcial, gracias a la acción transformadora de la radiación solar. Artificialmente el reciclado es posible sólo en algunos casos, a través de la utilización de una tec-

nología adecuada y un cierto consumo de energía. En otros, esta reconstitución resulta poco factible o impracticable, ya sea debido a los costos elevados, o a la mera imposibilidad física o tecnológica. De un modo u otro, una porción creciente y acumulativa de los recursos-residuos permanece en el ambiente indefinidamente como materia degradada.

Este fenómeno de la irreversibilidad final de los procesos industriales fue ignorado durante mucho tiempo por políticos y economistas. El resultado visible de esta indiferencia ha sido una creciente dilapidación de los "recursos naturales" y el deterioro de los sistemas ecológicos del planeta.

Ya desde la primera mitad del siglo XX aparecieron pensadores que pusieron en tela de juicio los principios y bases físicas de la economía industrial. Los escritos y afirmaciones de estos autores fueron ignorados, e incluso ridiculizados. Sin embargo, a medida que han transcurrido las décadas, se ha vuelto más evidente que la economía ortodoxa es incorrecta. Frente a las pruebas acumuladas, una nueva visión ha comenzado a desarrollarse: la economía ecológica.

A pesar de lo irrefutable de su posición, los economistas ecológicos son todavía una ínfima minoría y no han logrado ocupar posiciones de poder en los sistemas económicos globales o nacionales.

De todas maneras, es en este nuevo enfoque que se encuentran las semillas de una nueva forma de ver el mundo natural y de imaginar el papel que pueden jugar las sociedades en su propia preservación o destrucción.

Los antecedentes de la economía ecológica: S. A. Podolinsky[1] y Frederick Soddy[2]

Uno de los primeros autores que planteó las bases para desarrollar una visión económica sobre principios ecológicos fue el pensador ruso S.A. Podolinsky.

Sus ideas son conocidas por los comentarios de Engels, quien si bien apreció su esfuerzo, no estuvo de acuerdo con su idea de "mezclar la economía con la física". Como señala Martínez Alier, 1995, en ese momento se perdió la oportunidad de desarrollar un marxismo ecológico.

Podolinsky comparó la productividad energética de los ecosistemas rurales: bosques, praderas naturales y artificiales, cultivos. Constató que una caloría de trabajo humano o animal contribuía a producir entre 20 y 40 calorías adicionales. Esta relación de conversión fue denominada por Podolinsky: coeficiente económico. Para que la sociedad fuera sostenible este coeficiente debía ser como mínimo 1:5.

De acuerdo a Podolinsky, la especie humana era *una máquina termodiná-*

micamente perfecta[3] , pues con la energía obtenida por el trabajo lograba alimentar su propia caldera. Como señala Martínez Alier, 1995b, "*el secreto estaba no sólo en el ingenio y en el trabajo físico humano, sino en la fotosíntesis*".

Medio siglo más tarde, las reflexiones de Podolinsky fueron desarrolladas en forma independiente por otro autor que tampoco había surgido de los rangos académicos de la economía, sino de la física y de la química: Frederick Soddy.

Soddy (1877-1956) fue más conocido como un eminente investigador que estudió la desintegración radiactiva y contribuyó a la elaboración de la teoría moderna de la estructura atómica, que como economista. Fue en ese carácter que obtuvo el Premio Nobel en 1921. En tanto que científico prestigioso fue nombrado miembro de las academias de ciencias sueca, italiana y rusa y ejerció la docencia como profesor en McGill, Glasgow, Aberdeen y Oxford.

Si bien Soddy creía en el progreso científico, también pensaba que la ciencia era a la vez una bendición y una maldición para la humanidad. No aceptaba la idea en boga de que los científicos no tenían responsabilidad por el uso que se hacía de sus trabajos. Señalaba que, si bien los banqueros y economistas tenían más responsabilidad que los científicos, éstos tampoco eran completamente inocentes. Según Soddy el verdadero problema del mundo contemporáneo no era que la ciencia estuviese errada sino que estaba dirigida por una economía inapropiada.

Fue por esa época (década de 1920) que se había comenzado a descubrir la enorme energía que residía en el átomo. Frente a estos nuevos conocimientos, Soddy reflexionaba que, al disponer de esta fuente fantástica de energía, todas las naciones se lanzarían a la tarea de aplicarla para la guerra (cosa que ya estaban haciendo con las armas químicas y venenosas). Sostenía que el sistema económico imperante contenía en sí los elementos necesarios para destruir la humanidad, sólo faltaba que la ciencia le proporcionara los medios técnicos para hacerlo.

Pensaba este autor que debía haber algo sustancialmente erróneo con la economía mundial que impedía el aprovechamiento positivo de los descubrimientos de la ciencia. Fue en ese momento que se lanzó a la solitaria tarea de elaborar una nueva visión crítica de la economía, que finalmente plasmó en su obra "Wealth, Virtual Wealth and Debt"[4].

Su trabajo no fue bien recibido por la elite económica contemporánea. En un comentario del Times Literary Supplement se señalaba: "*Es una lástima ver a un respetado químico arruinar su reputación escribiendo sobre un tema en el que era bastante ignorante*".

Además de algunas pocas críticas que buscaban ridiculizarlo, los traba-

jos de Frederick Soddy fueron ignorados. Habrían de pasar cuatro décadas antes que pudieran ser retomados por otros autores.

El enfoque económico de Soddy

Decía Soddy que "*la economía está a mitad de camino entre el electrón y el alma...*"; los principios y éticas de la ley y convenciones humanas no pueden ir contra las leyes de la termodinámica. Para los humanos, como para otras máquinas, los problemas físicos de la vida son problemas de energía.

Las sociedades anteriores al siglo XIX vivían de los ingresos de la energía actual o reciente, la luz solar capturada por las plantas, que en cierto modo podían ser consideradas "las capitalistas originales".

Hoy, en la sociedad moderna, las cosas han cambiado, los humanos aumentan su ingreso consumiendo el capital energético almacenado en las rocas, al decir de Soddy: "*la luz acumulada de los veranos paleozoicos*".

La contradicción actual de los seres humanos es que mientras pueden usar la energía fósil para las máquinas, sus "motores internos" sólo pueden ser alimentados por nueva luz solar transformada por las plantas.

La vida depende del flujo continuo de energía que es renovado diariamente. Sin embargo, hay límites para su almacenamiento y se "estropea" si se le acumula en exceso de las necesidades actuales. Sostenía Soddy que se podía mejorar la capacidad de extraer el ingreso de energía, pero la energía misma no podía ser aumentada significativamente, ni almacenada más allá de un cierto grado. Inclusive, el mero mantenimiento del capital físico contra la fuerza destructiva de la entropía, también requiere energía. Es cierto, decía el pensador británico, que hay energía almacenada en el carbón, pero llevó épocas geológicas su acumulación. El uso de la energía fósil es inevitablemente una fase pasajera.

Se preguntaba: ¿de que vive el hombre? Y se respondía: de la luz del sol.

Para vivir de ella, sostenía, los seres humanos deben obedecer a las leyes de la termodinámica.

La riqueza es la forma humana útil de la materia y la energía. Por un lado tiene una dimensión física y por el otro una teleológica o de utilidad. El principal error de la economía es confundir la riqueza, una magnitud de dimensiones físicas irreductibles, con la deuda, que es tan sólo una cantidad virtual.

Las cantidades físicas positivas, representan riquezas y pueden ser vistas y tocadas (por ejemplo, dos cerdos), mientras que las cantidades físicas negativas son magnitudes imaginarias sin dimensión física. Para decirlo gráficamente: **los cerdos negativos no existen**, aunque la lógica económica or-

todoxa hace de cuenta como si existieran.

Allí está la contradicción, las riquezas están sujetas a las leyes de la física y las deudas están regidas solamente por las leyes de las matemáticas.

A diferencia de las riquezas que envejecen, se "pudren" o consumen, las deudas no se estropean, ni son consumidas. No sólo no se deterioran sino que crecen a tanto por ciento anual de acuerdo a las leyes del interés simple o compuesto.

Decía Soddy que, mientras el proceso de deterioro compuesto es común y corriente, el proceso de interés compuesto es físicamente imposible. La regla del interés compuesto tiende al infinito mientras que la regla del deterioro compuesto tiende a 0.

La pasión de estos tiempos, continuaba el autor, es transformar la riqueza (que se pudre y deteriora) en deuda (que otorga un ingreso permanente).

Nadie puede acumular todo lo que necesita para su vejez, pues se echaría a perder. Por tanto debe convertirlo en deuda (crédito) para lograr ingreso futuro. Pero de todas maneras hay también un límite a la cantidad de excedentes actuales que podrán ser intercambiados en corrientes perennes de ingresos futuros.

Soddy sostiene que la acumulación de los excedentes actuales no puede nunca ser cambiada en ingreso futuro en el sentido físico, sino, tan sólo, por medio de ciertas convenciones sociales.

A pesar que el prestamista puede sentirse confiado de que su riqueza todavía existe en algún lugar en forma de capital, ésta ya ha sido usada por el prestatario, para su consumo y/o inversión y ya no podrá ser usada más tarde. Más bien se transformará en deuda... o algo así como "la luz del sol futura".

Según Soddy el capital es igual al ingreso no ganado dividido por la tasa de interés y multiplicado por 100.

A pesar que la deuda sigue la ley del interés compuesto, el ingreso futuro real en que se basa la deuda, no podrá crecer a interés compuesto por mucho tiempo.

Al transformarse en deuda parecería que la riqueza esquiva las leyes de la naturaleza, en particular, la segunda ley de la termodinámica (la ley de la degradación de la materia con el tiempo).

La idea de que la gente puede vivir del interés de sus mutuas deudas es una gigantesca ilusión. No es posible ni justo para la comunidad o cualquier individuo, vivir de los intereses de las deudas sociales o individuales. Si ello no se prohibe o limita, las crecientes sumas acreditadas a los acreedores sobre un ingreso (cuyo crecimiento es limitado) serán superiores a los que los

futuros productores de este ingreso podrán o estarán de acuerdo en aportar. Inevitablemente se han de desencadenar conflictos.

Como no hay relación entre el crecimiento de la deuda y de la producción, en algún momento se producirá la cancelación o repudio de la deuda.

El incremento de signo positivo de la deuda debe ser compensado por incrementos de signo negativo que lo contrarresten y lo traigan a la realidad. Ellas son la inflación, las bancarrotas y quiebras y los impuestos confiscatorios, todos estos, factores generadores de conflictos y violencia.

Convencionalmente se acepta que estos tres fenómenos son patológicos, pero el interés compuesto se acepta como normal.

Explicación histórica

Sostenía Soddy que no se podía continuar con la convención absurda del incremento espontáneo (compuesto) de la deuda que va contra los principios básicos del "decremento" espontáneo de la riqueza. Pensaba que eran ideas absurdas y contradictorias que habían surgido porque la propiedad de la tierra generaba rentas sin trabajar, y del mismo modo se pensó (ilógicamente) que el dinero, que compraba la tierra, podía también generar una renta (el interés). No se consideró, que el dinero y la deuda son en realidad "unidades de medida", y en cambio se supuso erróneamente que podían regirse por las mismas leyes que gobernaban al objeto o fenómeno que medían.

Obviamente, en ello hay una flagrante contradicción, pues el dinero, que es una unidad de medida de las riquezas, se puede crear y destruir al margen de éstas. ¿Cómo puede servir para ambas cosas? ¿Cómo puede ser utilizado para medir las riquezas, para ser creado de la nada, y además, ser prestado a interés? Para Soddy esto es disparatado. Y sin embargo, esa era la base absurda en que se apoyaba la economía capitalista.

El problema se agravaba a medida que los bancos y gobiernos creaban "las riquezas virtuales". Originalmente, el dinero se diseñó para evitar los inconvenientes del trueque. Los individuos aceptaban "abandonar sus riquezas" por una cantidad de dinero (que se suponía era equivalente a esas riquezas). Sin embargo, si todos los que tienen dinero quisieran recuperar sus riquezas al mismo tiempo sería imposible, porque ya están en mano de alguien. Y de todos modos, ¿quien se quedaría con el dinero?

Increíblemente, la gente se comporta como si las riquezas virtuales fueran bienes físicos.

En realidad, el dinero es hoy una forma de deuda nacional en manos de los individuos y debidos por la comunidad, intercambiable por riqueza mediante transferencia a otro individuo.

La Riqueza Virtual de una comunidad no es una cantidad física sino una

cantidad de riqueza negativa imaginaria (negativa, pues quien tiene dinero se priva de obtener un bien voluntariamente). No obedece las leyes de la conservación, su origen es psicológico.

La existencia del dinero depende de que esa "deuda" nunca se liquide y de que la masa monetaria se mantenga.

Para traer racionalidad a la economía Soddy recomendaba las siguientes medidas:

1) Un requisito de 100% de reserva en los bancos (ello habría de impedir que con el dinero se creara riqueza inexistente).

2) El estado debía crear o destruir el dinero para mantener su poder de compra constante.

3) Las tasas de cambio de las diferentes monedas debían flotar libremente.

Trascendencia de las ideas de Soddy

Las soluciones de Soddy llegaron en forma muy inoportuna pues iban a contrapelo de las políticas económicas monetaristas keynesianas que se habrían de imponer en Estados Unidos a partir de la década de 1930.

Hoy más que nunca, las ideas de este pionero de la economía ecológica tienen relevancia. Las imágenes virtuales de la riqueza: el dinero y los papeles de deuda en todas su forma, se multiplican a ritmos cada vez más acelerados. Billones y trillones de dólares van y vienen en el ciberespacio sin que se sepa muy bien que es lo que representan. Los "cerdos negativos" se reproducen ilimitada e incontrolablemente mientras que el número de cerdos reales, de signo positivo, se mantiene estable. La contradicción es cada vez más patente.

Al respecto comenta Jack Weatherford, el famoso antropólogo estadounidense en su obra "La historia del dinero": "*Un espectro está espantando el mundo, el espectro del dinero con su presencia inmaterial y electrónica, sin forma ni figura. Recorre hambriento el globo día y noche; no conoce fronteras ni estaciones del año. Esta bestia extraña apareció tan recientemente en la escena del mundo que ni siquiera tenemos un nombre para él.*"

Muchos años habrían de pasar antes que otros autores retomaran los conceptos de Soddy. Fue recién en la década de 1960 que un economista rumano, residente en Estados Unidos, habría de desarrollar en profundidad una visión análoga a la propuesta por Soddy, Nicholas Georgescu-Roegen.

Si bien Georgescu no conocía los trabajos de Soddy, éstos representaron el primer antecedente, injustamente desconocido y relegado, del pensamiento económico ecológico contemporáneo.

Nicholas Georgescu-Roegen

Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994) fue durante la primera parte de su vida académica un economista "ortodoxo". Recién a los 59 años (en 1965), presentó un trabajo en donde proponía repensar la economía analítica, y 6 años más tarde, en 1971, publicó su trascendente libro titulado: "*The Entropy Law and the Economic Process*"[5].

Básicamente la revisión económica propuesta por Georgescu, se basa en el "rediseño" del diagrama de flujo del proceso económico utilizado hasta entonces en los tratados de economía.

En éstos, los procesos económicos estaban habitualmente representados por un flujo circular, que iba desde las industrias a los hogares y viceversa, sin entradas ni salidas. De acuerdo a Georgescu, este diagrama circular servía en cierta medida para analizar los intercambios, pero fallaba miserablemente como instrumento para estudiar la producción y el consumo en forma apropiada. En el diagrama ortodoxo se representaba la economía como un circuito en que el mantenimiento y el reemplazo tenían lugar internamente, sin dependencia del ambiente. Era, sostenía el autor rumano, como si estudiáramos el aparato circulatorio de un animal, sin mencionar el aparato digestivo, en este enfoque económico ortodoxo, el aparato circulatorio pasaba a ser, una especie de máquina de perpetuo movimiento.

Sin embargo, en la vida real, los animales tienen sistemas digestivos conectados al ambiente en ambos extremos. Continuamente toman materia con baja entropía y la evacúan con alta entropía. Por definición, los organismos no pueden reciclar sus propios residuos finales.

En la economía "industrialista" se tenía en cuenta tan sólo el aparato circulatorio. Esto ocurría tanto en la economía marxista como en la neoclásica.

La conclusión a que llegaba Georgescu, era que los textos económicos revisados debían basarse en un diagrama diferente: el flujo de materia y energía debía provenir de las fuentes ambientales, pasando a través de las industrias y hogares, y evacuarse al ambiente por una boca de salida o "*environmental sink*". Por un lado entran las materias primas (básicamente, recursos naturales) y por el otro salen los residuos degradados.

Decía Georgescu que, si bien era imaginable una economía sin flujo circular (por ejemplo, una economía de campesinos autosuficientes en donde no hubiera intercambio), no podía existir una economía que careciera de este flujo entrópico.

Las ideas de Georgescu no podían ser aceptadas por la oligarquía económica mundial, tenían demasiadas implicaciones para los circuitos económi-

cos que mantenían los estamentos de poder. El concepto de flujo entrópico es mucho más que la mera modificación de un simple diagrama, en realidad es como un caballo de Troya. Una vez que se le acepta entre las tapas del libro, sus implicaciones atacan todos sus capítulos y conceptos[6].

El flujo circular "mecanicista" es reversible y no cualitativo. Se basa en los mecanismos de las ganancias y el auto-interés. Al utilizar la mecánica como instrumento de análisis, los fenómenos económicos se presentan como si fueran reversibles y desprovistos de "calidades".

Por el contrario, el flujo entrópico es cualitativo e irreversible.

De acuerdo a la visión entrópica, la economía es un sistema abierto que extrae energía y materia utilizable del ambiente y lo retorna bajo la forma de residuos inutilizables. Por su parte el sistema global, en lo referente a la materia, puede ser considerado como un sistema cerrado, porque intercambia cantidades insignificantes de materias con el espacio circundante. Con relación a la energía, en cambio, el sistema es abierto, al recibir radiaciones solares y emitir ondas térmicas (McMahon y Mrozek, 1997)[7].

El flujo entrópico

La entropía es la medida de la diferencia cualitativa entre recursos útiles y residuos inútiles. El cambio entrópico que se produce al pasar de los primeros a los segundos es cualitativo e irreversible.

Por esa razón, los modelos mecanicistas no son adecuados para analizar los flujos económicos, que, como todos los demás procesos naturales, están sujetos a la segunda ley de la termodinámica.

Agregaba Georgescu que el flujo entrópico, necesario para mantener el proceso económico, induce necesariamente cambios cualitativos en el mismo ambiente del que depende, porque lo que a él se devuelve es cualitativamente distinto de lo que de él se extrae. A medida que el ambiente cambia, la economía debe adaptarse. En ese sentido puede considerarse como un proceso de "coevolución".

El modelo aritmético (aritmomórfico) no sirve, pues no puede lidiar con conceptos dialécticos que incluyen penumbras que evolucionan. Para poder englobar estos conceptos cambiantes se requiere utilizar enfoques dialécticos.

De acuerdo a la visión circular de la economía, la producción consistiría en "ordenar" bloques indestructibles con el fin de obtener ganancias, mientras el efecto del consumo sería "desordenar" dichos bloques, destruyendo su capacidad para brindar utilidad. En ese esquema de la economía, la producción tomaría los bloques desordenados nuevamente y los reordenaría.

De esa forma, el ciclo podría continuar indefinidamente.

Esto no es contradictorio con la primera ley de la termodinámica (de la conservación de la materia y energía), pero sí lo es con la segunda ley: la ley de la entropía.

En el "tratado económico" mecanicista los recursos naturales y el ambiente son un "anexo". En el libro revisado a la luz del flujo entrópico, ellos constituyen la esencia del análisis.

Otra diferencia entre ambos tipos de enfoques es la que se relaciona con el crecimiento ilimitado. De acuerdo al libro ortodoxo, el crecimiento puede continuar indefinidamente, pues el valor de cambio abstracto no tiene dimensión física. Las "anomalías" ambientales que se producen, tales como agotamiento de los recursos o degradación del ambiente, son meramente definidas como "externalidades", que se ubican fuera del circuito económico.

El enfoque del flujo entrópico es totalmente diferente. El crecimiento económico se encuentra con importantes barreras físicas: el vaciamiento de recursos, la degradación ecológica, la polución.

En las economías agrarias tradicionales estas diferencias de enfoques no tienen mayor trascendencia pues dependen de la luz solar que es una fuente abundante de recursos de baja entropía.

Las economías industriales, en cambio, son dependientes de fuentes de baja entropía que son bastante escasas (combustibles fósiles y minerales) y se focalizan en la acumulación de valor de cambio abstractos o sea de "deudas" (o sea, como decía Soddy, de los cerdos "negativos").

En la visión entrópica de la economía, la polución y vaciamiento son consecuencias esperables y no externalidades sorprendentes como en el diagrama de flujo circular.

Por supuesto, se reconoce la posibilidad de la adaptación tecnológica. Pero aún cuando ella ocurre, ambos enfoques se hacen notar.

Las nuevas tecnologías pueden ser concebidas para lograr simplemente más producción (beneficiando el presente a expensas del futuro) o más calidad de vida (beneficiando el futuro y el presente a la vez).

En la ideología económica ortodoxa se piensa que los bloques de recursos naturales sólo tienen valor por que la sociedad se los agrega. Georgescu señalaba que la naturaleza también les agrega valor y que ese valor es lo que verdaderamente diferencia los recursos de los residuos.

Filosóficamente, ambos sistemas conceptuales presentan también profundas diferencias, en el diagrama de flujo circular existe una armonía intergeneracional y una mano amiga, en el diagrama de flujo entrópico existen los elementos para el conflicto intergeneracional y una zancadilla potencial.

Los países pobres no podrán salir de la pobreza simplemente dando vuelta más rápido las ruedas de su diagrama circular. Más bien deberán redistribuir sus riquezas, controlar su población, repensar el ritmo y forma de utilización de sus recursos.

En la actualidad, las cuentas nacionales de los países se calculan de acuerdo a los principios de la economía del flujo circular. Se tiene en cuenta la depreciación de los bienes artificiales, pero se olvida la depreciación de los recursos naturales.

Un país podría agotar sus minas, cortar sus bosques, erosionar sus suelos y terminar con la vida silvestre y pesquerías, mientras sus cuentas nacionales registran crecimiento y prosperidad.

Al analizar el flujo entrópico es importante prestar atención al capital natural que produce ese flujo vital. De acuerdo a Georgescu, el capital y el trabajo son agentes que transforman el flujo de recursos naturales en un flujo de productos. Pensar que el capital es un buen sustituto de los recursos, sostiene el economista rumano, es como imaginar que se puede hacer una casa igual de grande con el doble de serruchos y la mitad de la madera. Del mismo modo, el concepto de población óptima debe ser reanalizado. En vez de preguntar ¿cuánta población? debemos preguntar: ¿cuánta población? ¿por cuánto tiempo? y ¿en qué recursos se ha de basar?

Esas preguntas aún están ausentes de los análisis económicos contemporáneos.

Hace más de treinta años que Georgescu presentó su visión revolucionaria de la economía. Sus puntos de vista no han sido rebatidos. A falta de buenos argumentos, los economistas ortodoxos han preferido ignorarlos.

Sin embargo, las ideas de Georgescu cada vez aparecen más sólidas y congruentes. Si bien murió sin ser reconocido plenamente, su obra ha pasado a ser una referencia impostergable para modificar los enfoques y políticas económicas cuyo carácter insostenible se hace cada vez más evidente.

La riqueza, la pobreza y la degradación ambiental[8]

El "*establishment*" político-económico ha tratado de desviar la atención acerca de las causas y "culpas" de la degradación ambiental. Cuando es obvio que ésta es sobre todo el resultado directo del exceso de consumo en los países más industrializados, se ha buscado invertir la carga de la culpa, adjudicándole la responsabilidad a los pobres. Para ello se produjo un documento internacional que fue publicado y difundido en 1987, bajo el título de Nuestro Futuro Común. Este informe es generalmente conocido también como "El Informe Brundtland"[9].

El mensaje de este informe es que el crecimiento económico es un remedio a la vez contra la pobreza y la degradación ambiental.

Concordante con los conceptos de Nuestro Futuro Común se ha señalado, por parte de los economistas del GATT, hoy rebautizado bajo las siglas OMC, que la riqueza es buena para el ambiente. Si bien se reconocen los "excesos" del libre comercio, éstos se compensan con los efectos positivos de "la riqueza".

Uno de los temas centrales del informe es la idea que la pobreza degrada el ambiente. Señala Martínez Alier[10] que de esa forma se le termina echándole la culpa a las víctimas. Se insiste en el crecimiento, y se relegan a un segundo plano las cuestiones de la redistribución la equidad, y la sostenibilidad.

En los hechos, prosigue este autor, las relaciones entre riqueza y degradación ambiental son numerosas y variadas: las emisiones de dióxido de carbono, de dióxido de azufre y la contaminación radiactiva aumentan en las sociedades "ricas".

A ello hay que agregar la presión de las exportaciones sobre una base de recursos limitada en los países pobres. Allí no es la pobreza la causa última de la degradación, sino las demandas de materias primas para las compañías transnacionales, situadas en los países ricos.

La producción y consumo excesivo en los países ricos también desplaza a los pobres de las mejores tierras, empujándolos a territorios marginales vulnerables y promoviendo indirectamente la degradación ambiental.

Por esa razón, en la mayor parte de los casos, la degradación no proviene de la presión demográfica sino de demandas externas o de desigualdades internas.

1. Sin lugar a dudas, son los cultivos a escala industrial, frecuentemente destinados a la exportación o a suministrar productos a los mercados internos más ricos, los que causan la mayor parte de la degradación.

2. Por su parte, la situación de pobreza, cuando fuerza a la gente a concentrarse en grandes números en pequeñas áreas, puede efectivamente dar lugar a situaciones de degradación, pero en este caso las causas de éste fenómeno son otras. En primer lugar, los campesinos sin tierra se ven obligados a concentrarse en suelos de menor productividad y forzados a la sobreexplotación agrícola por falta de opciones. En segundo lugar, la concentración urbana en condiciones inadecuadas fuerza a los pobladores a instalarse como pueden en áreas inestables, insalubres o peligrosas. En ambos casos la causa son las desigualdades internas.

No se arreglan estos problemas con el "crecimiento económico" (mal llamado desarrollo económico por algunos), pues éste más bien tiende a au-

mentar la degradación "industrial", y no resuelve el problema de la desigualdad, sino que lo agrava.

Los procesos de degradación ambiental son desencadenados por las exigencias de los mercados ricos (externos e internos) y la acumulación asimétrica de la riqueza (incluyendo la tierra y las viviendas) que empuja a los pobres a actividades inapropiadas.

La visión entrópica lleva a concluir que el crecimiento no puede sustituir para siempre la redistribución y el control demográfico.

Reflexiones sobre el valor entrópico del agua

Siguiendo la visión entrópica de los economistas ecológicos hemos procurado aplicar algunos de los principales enfoques de éstos al tema hídrico. Desde el punto de vista biológico el agua es indudablemente el recurso más valioso. Este valor rara vez se refleja en los puntos de vista de la economía ortodoxa. En la realidad, un enfoque económico holístico y sostenible requiere la consideración especial y principal de los recursos y sistemas hídricos. El concepto de entropía, que fue tomado como base de su discurso ideológico por Georgescu y otros, también puede resultar una herramienta analítica importante al considerar el tema del valor del agua

El concepto de entropía

La entropía es un concepto complejo, que busca describir la dirección natural de los procesos físicos en el universo. Éstos tienden a darse desde ordenado a lo desordenado, de lo heterogéneo a lo homogéneo. La energía concentrada en un lugar del espacio tiende a difundirse en todas direcciones. Localmente dicha difusión puede verse obstaculizada por otras fuerzas físicas, como la atracción gravitacional[11]. Estas barreras a la difusión global de la energía producen sistemas casi cerrados que constituyen ámbitos circunscriptos donde actúa la ley de la entropía. Si los cuerpos celestes no emitieran ni recibieran energía (o su versión concentrada: la materia) se podrían considerar como sistemas cerrados y para estos casos se podría aplicar la Segunda Ley de la Termodinámica cuyo enunciado sostiene: "**La entropía de un sistema cerrado nunca disminuye y cada vez que es posible aumenta**"[12].

En la realidad el único sistema totalmente cerrado es el universo entero, y es a él que se aplica el concepto antes mencionado.

El concepto de entropía también se aplica a los sistemas abiertos (o semiabiertos). Del mismo modo, éstos tienden a desordenarse y uniformizar su materia y niveles de energía. Debido a su carácter abierto, pueden expe-

rimentar procesos locales de disminución de la entropía que se explican por un aumento de la entropía en otro lugar. El balance general es un incremento de la entropía.

El planeta Tierra está sometido a los procesos entrópicos del sistema solar, de la galaxia y del universo. Las radiaciones electromagnéticas recibidas de estrellas y galaxias son el resultado de la uniformización entrópica de la energía en los ámbitos interestelar e intergaláctico. Por su parte, y con mucho más relevancia en la dinámica terrestre, la radiación solar es el resultado exterior de los procesos entrópicos de generación de energía que tienen lugar en el interior del Sol. Se trata de una estrella que "consume" su "combustible" nuclear y evoluciona entrópicamente a una situación de madurez estelar que terminará en su apagamiento total en el futuro lejano.

A su vez, la Tierra está experimentando su propia evolución entrópica a través del agotamiento de su combustible interior (energía generada por las sustancias radioactivas de las rocas, por ejemplo K^{40}, isótopos radioactivos de U y Th, etc.).

En definitiva, la evolución geológica de la Tierra es el resultado de la interferencia de estas dos tendencias entrópicas, la del Sol que en su maduración difunde y por ende "comparte" su energía, y la de la propia Tierra que, en forma similar, aunque menos intensa, está irradiando continua y a veces insensiblemente su caudal energético. Esta radiación se manifiesta claramente a través de los volcanes, lavas y otros fenómenos efusivos, o en forma menos visible a través del flujo de energía desde el interior del planeta en dirección al espacio.

A escalas más reducidas son frecuentes los fenómenos en que parecería que la entropía disminuye en vez de aumentar. Sin embargo, en todos los casos se trata de procesos parciales que son compensados con creces por incrementos entrópicos en otras partes.

Desde el punto de vista práctico, la entropía se manifiesta en un conjunto de fenómenos físicos que, dadas las condiciones apropiadas, tienen lugar en una única dirección. Hay numerosos procesos que son ilustrativos del funcionamiento entrópico. Por ejemplo, el agua líquida en contacto con un gas tiende a evaporarse, y ello ocurre porque las moléculas del vapor de agua están más uniformemente distribuidas que las del agua, en otras palabras, "tienen un grado más de libertad". Del mismo modo, dadas las condiciones apropiadas de temperatura y presión, el hielo tiende a fundirse o a sublimarse. Igualmente, cuando dos objetos se encuentran en contacto el calor se escapa de los cuerpos calientes a los fríos, y cuando un recipiente con gases o líquidos a alta presión se comunica con otro a presión más baja, estos gases y líquidos tienden a fluir de los recipientes de alta a los de ba-

ja igualando las presiones respectivas en los recipientes.

El valor entrópico del agua

El volumen de agua del planeta es finito pero su potencial teórico para el uso es ilimitado. Lo que en verdad está acotado es la rapidez del flujo. Ésta depende sobre todo de la energía, y la energía disponible en la superficie de la Tierra es limitada, casi enteramente suministrada por la radiación solar. La energía geotérmica (de origen radioactivo) es tan sólo una ínfima parte del balance energético global. Otro factor limitante a largo plazo es la irreversibilidad final de su degradación entrópica, que si bien se expresa sobre todo a escalas temporales muy grandes, puede ser acelerada a través de la intervención humana.

El **valor entrópico** del agua es en realidad su valor evaluado en el marco de la evolución entrópica de la vida en el planeta. Se trata de un valor que disminuye a medida que aumenta la entropía, y que por ende podría denominarse con más rigor: valor anti-entrópico. Como los seres humanos consideramos que la entropía es una desvalorización de los recursos, utilizaremos la expresión valor entrópico para definir la ausencia de desvalorización, o dicho de otro modo, la ausencia de entropía.

El valor entrópico del agua se relaciona con la energía consumida/ utilizada para llevar al líquido a un estado de menor entropía que se busca establecer.

En ese sentido, el valor entrópico está dado por la energía requerida para obtener una determinada calidad de agua[13] a partir de un nivel de referencia.

En los sistemas naturales el mayor valor entrópico se logra a partir de la condensación del vapor de agua de la atmósfera en las nubes y su precipitación a través de las lluvias, de la nieve o del granizo. La caída del agua, tanto como su escurrimiento posterior rumbo a niveles menores de energía potencial, implica un aumento de la entropía y por ende una pérdida del valor entrópico del recurso.

Luego de precipitada, el agua de lluvia se escurre y/o infiltra, y en su flujo disuelve e incorpora sustancias dando lugar a pérdidas adicionales de valor entrópico. Al mismo tiempo que fluye, el agua se transforma, cada vez más, en un medio adecuado para el desarrollo de organismos vivos, cuya presencia tiende a provocar aún una mayor disminución de este valor.

El uso humano del agua es un factor que acelera el deterioro creciente de su valor entrópico y que se agrega a la degradación debida a procesos naturales.

La agricultura de irrigación, tipo de uso hídrico mayor, cuando se le con-

sidera en términos de volumen, utiliza aguas de una cierta calidad y las regresa al medio natural con una calidad menor. La pérdida de valor debido a la agricultura depende de las prácticas y sistemas de irrigación utilizados. En algunos casos, se utiliza agua de alta calidad (mayor valor entrópico) y se vierte muy contaminada por agroquímicos o sales (menor valor entrópico). En ese caso, la pérdida de valor es muy grande. En otros, se usa agua de menor calidad, y se vierte al medio sin sustancias químicas ni sales (por ejemplo en el caso de la agricultura orgánica). En esta situación la degradación puede ser muy escasa.

Las ciudades, en cambio, a pesar de consumir menos agua que la agricultura, tienden a ser grandes degradadoras del agua consumida. En su mayor parte, toman el agua de la naturaleza, la someten a ciertos tratamientos de potabilización (que consumen energía), elevando su valor entrópico, y luego la arrojan al medio cargada de numerosos contaminantes. El reuso de las aguas residuales urbanas, que significa elevar nuevamente el valor entrópico, requiere utilizar grandes cantidades de energía, que muchas veces están fuera del alcance de las sociedades en cuestión.

Por su parte, las industrias tienen en general, aunque no siempre, intensos efectos nocivos sobre los recursos hídricos. Estos son variables de acuerdo al tipo de actividad y tecnologías de producción utilizadas. Algunas industrias requieren aguas de gran valor entrópico (por ejemplo agua destilada) y la arrojan cargadas de químicos que disminuyen su calidad en forma notable. En otros casos, la calidad del agua residual no es muy inferior a la del agua original (por ejemplo cuando el agua se usa solamente para procesos de enfriamiento). De todas maneras, como regla general, el potencial de degradación del agua de la actividad industrial es muy grande.

A pesar que el efecto final de la utilización humana del agua es la reducción del valor entrópico, en muchos casos, en las etapas previas a su utilización, se pueden realizar "tratamientos" que, si bien consumen energía, dan lugar a un aumento temporario del valor entrópico que la hacen apta para ser utilizada con el fin propuesto.

El agua potabilizada tiene un valor entrópico mayor que el agua natural no potable. La diferencia estriba, sobre todo, en la cantidad de energía requerida para obtener la primera a partir de la segunda. Del mismo modo el agua residual tratada tiene un valor entrópico superior al del agua residual cruda.

En los hechos se han aplicado diversas metodologías para calcular el valor de la calidad del agua. Como señalan Kneese y Bower (1968)[14], las pautas de calidad requeridas no pueden ser establecidas meramente en términos económicos, pues los beneficios directos o indirectos de una determina-

da calidad de agua son difíciles de calcular en forma precisa.

Si bien el valor entrópico tampoco puede ser fácilmente expresable en términos cuantitativos, ofrece un instrumento para definir, aunque sea cualitativamente, las escalas de valor requeridas para la formulación de estrategias apropiadas para optimizar la utilización de los recursos hídricos disponibles.

Los sistemas naturales de reciclado

Todas las aguas residuales que no son recicladas artificialmente se integran al ciclo hídrico y quedan sometidas a los sistemas naturales de reciclado. Éstos se basan fundamentalmente en la acción solar, ya sea directamente a través de la evaporación (que es en cierto modo una "destilación" natural) y posterior condensación, o indirectamente, a través del filtrado que ocurre en ciertas formaciones geológicas debido a la acción de la gravedad, o de la vegetación (que absorbe ciertas sustancias, produciendo un efecto purificador, con el consecuente aumento del valor del agua).

La capacidad planetaria de reciclado natural del agua es limitada, tanto local como globalmente. A nivel local, las aguas suelen permanecer durante un cierto tiempo con sus condiciones de calidad deteriorada, hasta ser evacuadas al mar o evaporadas, reintegrándose, más tarde, en ambos casos, al sistema natural bajo la forma lluvias, nieves y granizos.

A nivel global, las aguas residuales no tratadas tienden a diluirse en océanos, mares y lagos, incorporándose a éstos y disminuyendo la calidad de los sistemas hídricos. Este proceso es claramente visible en la cercanía de las costas en donde la calidad de las aguas marinas se ve sensiblemente deteriorada por los aportes de ciudades e industrias.

Las aguas del mar son aguas superficiales de gran entropía (y por lo tanto con bajo valor entrópico). Este valor natural, ya reducido, se ve disminuido aún más por la acción humana. El valor entrópico de las aguas marinas se encuentra en una fase de clara degradación dificultando los procesos de reciclado natural.

También el agua atmosférica (vapor de agua, nubes, lluvias, nieve, granizo) está sufriendo el impacto antrópico. La lluvia ácida, provocada por la formación de ácido sulfúrico a partir de la emisión de compuestos de azufre en ciertas industrias, es un caso típico de disminución de valor entrópico en la porción cuspidal del ciclo hídrico. En otras palabras, en las zonas afectadas por este fenómeno, incluso la lluvia ha visto reducido su valor entrópico.

A medida que los mares y atmósfera tienen mayores dificultades para "digerir" los caudales crecientes de aguas residuales humanas, la calidad ge-

neral del agua planetaria disminuye, se hace más difícil la eliminación de la carga de contaminantes y la vida marina se ve crecientemente afectada.

De a poco, a medida que la población y las actividades humanas se incrementan, los grandes cuerpos de agua, lagos, océanos y mares pasan a ser grandes cubetas de almacenamiento de aguas residuales.

Irresponsable e irreversiblemente, los seres humanos están transformando el mundo de las aguas naturales en un mundo de aguas residuales.

Criterios de clasificación

Para clasificar los diferentes tipos de aguas de acuerdo a su valor entrópico hemos usado un cierto número de criterios, que se relacionan a la vez con procesos de tipo entrópico y con los requerimientos de energía necesarios para llevar las aguas de los niveles inferiores (de menor valor entrópico) a otros superiores. En algunos casos, cuando los procesos son irreversibles, está "elevación" de nivel entrópico puede no ser factible.

Los principales criterios utilizados son los siguientes:

- El valor entrópico tiende a disminuir a medida que el agua desciende. El agua de las nubes o de las montañas es más valiosa que la de los ríos, del mar o de los acuíferos de llanura;
- También disminuye al aumentar el tenor de sustancias disueltas, por ejemplo sólidos. El agua "dulce" con pocas sales[15] tiene mayor valor entrópico que las aguas salobres[16], y éstas a su vez mayor valor que las aguas del mar[17] y las salmueras;
- El valor entrópico tiende a disminuir a medida que aumentan los organismos vivos y la materia orgánica derivada de ellos. Luego de un cierto umbral el aumento de la entropía (con su consecuente disminución del valor entrópico) puede llevar a la reducción e incluso desaparición de los procesos vitales y materia orgánica;
- El valor entrópico disminuye a medida que aumenta la contaminación de las aguas.

En base a los criterios antes mencionados proponemos un cuadro clasificatorio de las aguas terrestres de acuerdo a su valor entrópico. Para facilitar el análisis las dividimos en 10 categorías en donde el 10 es el mayor valor entrópico y el 0 es el valor entrópico nulo (máxima entropía). Las causas que pueden disminuir la calidad del agua son variadas, algunas son naturales y otras se derivan del tipo de utilización. Por esa razón, puede haber aguas con características muy diferentes que estén clasificadas al mismo nivel. La razón es que todas ellas requieren cantidades comparables de ener-

Cuadro 17.1

Valor Entrópico de las Aguas Terrestres

Valor	Aguas naturales Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Utilización del agua	Aguas residuales-contamina.	Posición geológica	Presencia de vida
10	Nubes		Agua destilada		Atmosférica, elevada	Organismos muy escasos por falta de nutrientes
9	Lluvia, nieve, granizo, rocío		Agua potable		Atmosférica, baja	Organismos escasos por falta de nutrientes
8	Manantiales, torrentes de montaña		Aguas termales		Cimas, cabeceras de valles	Organismos de abundancia escasa a intermedia
7	Cursos altos de ríos, lagos de montaña	Napas hipodérmicas de agua dulce	Aguas para riego	Lluvia moderada. ácida	Zonas de montañas, sierras, colinas elevadas, mesetas	Organismos de abundancia intermedia
6	Cursos medios de ríos, lagos medios, emisarios de ciertos humedales	Napas hipodérmicas, acuíferos poco profundos no contaminados	Aguas para riego	Lluvia muy ácida subsuelo	Zonas de colinas, sierras bajas, profundidad	Organismos abundantes de poca
5	Cursos bajos de río, lagos de llanura, humedales oxigenados	Agua subterránea profunda dulce. Poco profunda ligeramente salobre	Aguas para riego	Vertidos de riego	Llanuras, colinas bajas, subsuelo medianamente a muy profundo.	Organismos muy abundantes en ríos y lagos, localmente exceso de nutrientes. Los vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutroficación
4	Lagos y humedales eutrofizados Lagos salobres.	Agua subt. profunda ligeramente salobre; aguas poco profundas salobres	Aguas para lavado	Vertidos de riego	Zonas bajas áridas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en los lagos salobres. Los vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutroficación.
3	Mares y lagos salados	Agua subterránea salada.	Aguas balnearias	Vertidos urbanos	Nivel del mar, zonas continentales deprimidas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en mares y lagos, escasos en vertidos urbanos. Los vertidos urbanos provocan frecuentes procesos de eutroficación.
2	Salmueras	Salmueras subterráneas	Producción de sal	Vertidos industriales	Salmueras subterráneas	Escasos organismos debido a la toxicidad, procesos de eutroficación posibles localmente
1	Salinas	Yacimientos de sal	Producción de sal industrial	Vertidos industriales de alta toxicidad	Yacimientos de sal	Ausencia de organismos

gía para ser elevadas a los niveles máximos de valor entrópico.

En el cuadro incluimos además algunos rasgos de los diferentes tipos de valores de aguas: la utilización posible, la posición geológica y la presencia de vida.

Conclusión

Teniendo en cuenta la calificación entrópica de las aguas naturales y residuales y el mínimo valor entrópico requerido para su utilización, es posible lograr una optimización de uso del recurso. Las políticas de gestión deben tender a reducir el deterioro de los sistemas hídricos producido por las actividades humanas. Ello se logra destinando las aguas con el menor valor ambiental posible para cada propósito específico. Corresponde definir cual es el mínimo valor entrópico para cada función. Así, por ejemplo, el agua destinada para ser bebida debe tener un valor entrópico elevado, mientras que el agua para el lavado o el riego puede poseer un valor bastante menor. En base a ello hay que diseñar los procesos de utilización hídrica de manera de disminuir a un mínimo la desvalorización entrópica.

En forma prioritaria deben ser revisados cuidadosamente aquellos usos que dan lugar a un deterioro muy pronunciado de la calidad, sobre todo cuando se consumen grandes volúmenes. De ese modo será posible administrar los recursos hídricos de la forma más apropiada y sostenible para satisfacer de la mejor manera las necesidades de las comunidades y naciones.

En resumen: el valor entrópico puede ser utilizado como factor de ponderación al analizar los costos y ventajas de las diversas alternativas de explotación de las aguas que provienen de diferentes fuentes.

Referencias

1. Referencia de Martínez Alier, J., *Curso de Economía Ecológica,* 1995b, p.16.

2. La primera parte de este capítulo, referente a los enfoques de Soddy y Georgescu, está basado sobre todo en el libro *Beyond growth* de Herman E. Daly (1996).

3. Mártinez Alier, J., 1995b, p.17.

4. Soddy, Frederick, 1926; *Wealth, virtual wealth and debt;* reimpreso por Omni Publications, Hawthorne, California, 1961.

5. Georgescu-Roegen, Nicholas, 1971; *The entropy law and the economic process;* Harvard University Press, Cambridge, Massachusets.

6. Daly, 1996, op.cit.

7. Del trabajo "Economics, entropy and sustainability" de McMahon, George F. y Mrozek, Janusz R. en *Hydrological Sciences-Journal-des-Sciences Hydrologiques,* 42 (4), agosto de 1997, pp. 501- 512.

8. Este documento ha sido analizado por Martínez Alier, J., 1995a.

9. Es el informe preparado por la Comisión Mundial sobre el Ambiente y el Desarrollo (World Commission on Environment and Development, WCED), bajo el título "Nuestro futuro común" también conocido como "El Informe Brundtland" ("Our common future" o "The Brundtland Report"), Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.

10. Del libro de Joan Martínez Alier publicado por primera vez en Barcelona en 1992 por Icaria Editorial, con una edición ampliada en 1995 por Icaria y Nordan, Montevideo, con el título *De la economía ecológica al ecologismo popular.*

11. Es el caso de los "agujeros negros" (black holes).

12. La Primera Ley de la Termodinámica es la ley de la conservación de la energía y la Tercera Ley, también conocida como el teorema de Nernst, afirma que si uno pudiera alcanzar el cero absoluto todos los cuerpos tendrían la misma entropía.

13. "Calidad" en el sentido de "apto para ser utilizado socialmente".

14. Señalan Kneese y Bower, 1970: "El nivel de calidad de agua a ser alcanzado en cada uno de los cursos de agua de la nación no puede ser establecido directamente en términos económicos- porque todos los beneficios relevantes de la mejora de la calidad no pueden ser calculados…".

15. por ejemplo 100 a 1000 ppm de sólidos disueltos.

16. por ejemplo 1000 a 10,000 ppm de sólidos disueltos

17. Las aguas de mar contienen unos 35,000 ppm de sólidos disueltos, las salmueras más de 200,000 ppm.