

William Antonio Boyle L.

TERMODINAMICA, ECOLOGIA Y PROCESO ECONOMICO

RESUMEN

Los problemas ecológicos y económicos de la época actual son sumamente serios y amenazan con agravarse más con el paso del tiempo a menos que sean tomadas medidas correctivas adecuadas. En este artículo se ha tratado de presentar una discusión clara y sencilla de esta problemática ecológica-económica, con base en argumentos termodinámicos.

Se explican la primera y la segunda leyes de la termodinámica, en especial la segunda, la ley de la entropía, las cuales son principios fundamentales de la naturaleza a los que hasta el presente no se ha hallado ninguna excepción. Se explican también los conceptos básicos de la ecología, la ciencia del Medio Ambiente y se analiza cómo las leyes de la Termodinámica funcionan como bases para el ordenamiento de las relaciones ecológicas. Luego se presentan modelos sencillos de los conceptos de "proceso económico" y de "desarrollo económico" aceptados en la actualidad y se analiza cómo estos modelos no toman en cuenta las realidades ecológicas, y en particular no toman en cuenta a la ley de la Entropía, con lo que se puede inferir que su aplicación continuada es una de las principales causas de la problemática ecológico-económica. Se discuten algunas causas de esta omisión, algunos de sus factores agravantes, así como algunas posibles respuestas a esta situación.

Introducción

No se puede dudar de que la presente época no tiene precedente en la historia del hombre; el desarrollo intelectual ha impulsado un acelerado ritmo de avances tecnológicos por los cuales se ha logrado desarrollar productos, procesos y sistemas que han abierto posibilidades de bienestar material que resultarían completamente increíbles para los seres humanos de épocas anteriores. Sin embargo, los problemas existentes en la presente época anterior; los problemas en las

áreas políticas, económicas, sociales y ecológicas o del medio ambiente son cada vez mayores. Son de especial interés los problemas en las áreas de la economía y la ecología; como su nombre lo indica, estas ciencias tienen mucha relación entre sí; su nombre se deriva de la palabra griega *oikos* que significa lugar o morada donde se habita y se refieren en general al manejo y al estudio de este

* Trabajo presentado en el Quinto Congreso Nacional de Ingeniería, San Salvador, El Salvador, 25-28 de noviembre de 1981.

lugar; la economía en las relaciones monetarias, la ecología en las relaciones biológicas.

Uno de los mayores problemas económicos en la actualidad es la disparidad en ingresos que existe entre países desarrollados (PD) y los países en vías de desarrollo (PVD). Los PD tienen únicamente el 30% de la población global, pero el 85% del ingreso global; en cambio los PVD tienen el 70% de la población y únicamente el 15% del ingreso global (incluyendo con los PD a los países exportadores de petróleo; Ehrlich, 1977), o sea que las posibilidades de bienestar material están sumamente concentradas en los PD. Esta disparidad va en aumento porque la población de los PD crece lentamente, mientras que la de los PVD aumenta rápidamente.

Además, el ingreso de los PD está aumentando mucho más rápidamente que el ingreso de los PVD. Este ingreso global refleja la producción industrial de estos países y por eso se habla de "desarrollo" económico, además refleja el consumo de recursos por estos países.

El bienestar material requiere, pues, recursos físicos, energía, agua, materiales y tierra, y la aplicación de herramientas culturales, la tecnología y la organización social. A primera vista parecería, pues, que la solución del problema sería acelerar el desarrollo industrial y económico de los PVD. Pero esto puede acarrear serios problemas ecológicos en estos PVD, como los que se han dado en los PD, ya que para el desarrollo económico es necesario aumentar la producción industrial, lo cual significa problemas de contaminación ambiental, ya que no existe ningún proceso industrial libre de impacto ecológico; y esto es una consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, (Georgescu, 1971 Ehrlich, 1977). La contaminación ambiental causada por las industrias es de importancia ya que los procesos industriales modernos producen y pueden introducir en el ambiente muchas sustancias o compuestos nuevos que pueden ser tóxicos o dañinos en cantidad o calidad, a corto o largo plazo, tanto para el ser humano como para los sistemas ecológicos de los que éste depende. Así, pues, a diferencia del mundo antiguo en que el efecto de las actividades del hombre era siempre despreciable en relación a la capacidad de absorción de la naturaleza, en el mundo actual dada la cantidad y calidad de la actividad industrial, se hace necesario el control de la contaminación ambiental por cada industria.

Si se supone que para producir determina-

dos productos existen dos grupos de empresas, unas que utilizan protección ambiental y otras que no utilizan esta protección, en igualdad de condiciones, es evidente que las empresas que no la utilizan tienen costos de producción inferiores, con lo cual tienen cierta ventaja competitiva, ya que para una industria dada el utilizar equipos, materiales y métodos para recuperar y detoxificar productos dañinos que se encuentren en sus efluentes representa un costo. Este factor se ve complicado por el pensamiento económico tradicional de que es el deber de toda empresa o individuo el maximizar sus ganancias monetarias (Friedman, 1970, 1980; Smith, 1776). O sea que, de acuerdo a esto, las empresas tratarán en lo posible de evadir la necesidad de la protección ambiental, a menos que sus dirigentes posean una visión de la realidad más amplia que la puramente económica.

Esto a su vez refleja un hecho sencillo de psicología humana; es más fácil y deseable resolver un problema sencillo que un problema complicado, lo cual para un dirigente de empresa significa que es más fácil y deseable resolver el problema del manejo y subsistencia de su empresa solamente, y no tener que añadir el tener que resolver el problema de la contaminación ambiental y de la absorción de los costos que éste implique. Pero, aunque no se tenga protección ambiental estos costos existen, principalmente en la forma de disminuciones de la calidad de la vida; pero a éstos se les llama "diseconomías externas", ya que ocurren fuera del sistema de contabilidad de la empresa contaminante.

Otro factor que también es de importancia inmediata es el de los recursos materiales y energéticos necesarios para lograr el desarrollo económico e industrial. La tierra tiene extensión limitada y, por lo tanto, los recursos no renovables que se encuentren disponibles en ella también son limitados. Estos difieren en la dificultad que ofrecen para extraerlos y utilizarlos.

Se debe notar que la prosperidad de los PD se ha basado en la aplicación relativamente reciente de tecnologías para la explotación de los depósitos de minerales más concentrados, de los campos petrolíferos y carboníferos más accesibles y de las mejores tierras agrícolas, una situación única en la historia; así que el camino seguido por los PD, o sea, confiando en la disponibilidad de recursos "fácilmente accesibles", es muy probable que no lleve a los resultados deseados.

Las leyes de la termodinámica constituyen principios fundamentales para el ordenamiento de las relaciones ecológicas y económicas.

Es importante no caer en la "falacia del Japón"; ésta consiste en creer que sólo es necesario industrializar para llegar a tener prosperidad. Japón es un país que ha logrado un espectacular desarrollo económico a pesar de poseer escasos recursos naturales. El Japón importa recursos naturales, minerales y energéticos y exporta toda una gama de productos manufacturados. Pero, ¿Cuánto tiempo podrá el Japón mantener esta situación al comenzar a industrializarse los países de los cuales ahora importa sus materias primas? Al darse esta situación la disponibilidad de las materias primas irá disminuyendo por el consumo de las industrias nativas. Y además, ¿Cuántos japoneses puede absorber el mundo? Cada nuevo país que quisiera emular al Japón tendría que competir con éste para adquirir sus materias primas y luego para vender sus productos (Georgescu, 1971).

Es más, si se considera como "sobredesarrollo" el utilizar preciosos recursos en producir miles de artículos superfluos, los PD están en realidad "sobredesarrollados" y, dada la naturaleza limitada de estos recursos, para lograr el desarrollo de los PVD es necesario el "desarrollo" de los PD, esto es, que concentren su producción únicamente sobre artículos esenciales y disminuyan su consumo global de recursos naturales no renovables para permitir el acceso de los PVD a los depósitos restantes. De esta manera podría llegarse a una situación de bienestar material más equitativamente repartido, a un desarrollo económico global equilibrado y a una transición hacia una sociedad global madura. El lograr estos cambios parece sumamente difícil, pero tal como se verá más adelante, son necesarios.

Estos factores mencionados son solamente unas facetas de los problemas ecológicos y económicos mundiales y éstos no son los únicos; cabe mencionar además los problemas políticos, demográficos y de alimentación. Para resolverlos se requerirá un grado de cooperación mundial sin precedentes; se necesitará información verdadera y útil acerca de la situación actual y acerca de la situación a la que se quiere llegar, y es necesario recordar que para que la información sea útil de-

be ser comunicada, comprendida y debe llevar a la acción. En lo siguiente se discutirán algunas de las bases de estos problemas y de sus posibles soluciones.

Las leyes de la termodinámica

La termodinámica es una de las ciencias más interesantes que ha desarrollado el ser humano. Se originó durante el siglo pasado con los descubrimientos de Carnot, Clausius y Kelvin, alcanzando una madurez impresionante para principios de este siglo. Como su nombre lo indica, originalmente trataba del estudio de la obtención de fuerza a partir del calor, pero en la actualidad estudia las transformaciones de energía de todas clases de una forma a otra. Estas transformaciones están sujetas a ciertas restricciones universales que se conocen como la primera y la segunda leyes de la termodinámica (Smith, 1975). Estas son principios básicos de la naturaleza a las cuales hasta el presente no se ha hallado ninguna excepción.

La primera ley, la más sencilla, es la Ley de la Conservación de la Energía. Su enunciado es: "La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma". Tomando en cuenta la conocida ecuación de Einstein, $E = m c^2$, sería equivalente a la Ley de la Conservación de la Materia.

La segunda ley, la ley de la Entropía, es un poco más complicada, aunque se basa en el hecho sencillo de que en la naturaleza el calor siempre fluye desde un cuerpo caliente a un cuerpo frío. Básicamente habla de que existe una calidad de la energía a la que se llama entropía que limita la transformación de esa energía en trabajo útil. Si la energía posee baja entropía se llama energía libre y se puede transformar en gran parte en trabajo; si la energía posee alta entropía se llama energía no libre y no se puede transformar en trabajo. Para un sistema dado, la energía de más alta entropía es el calor a temperatura ambiente; esa energía no se puede utilizar para nada; en cambio, el calor a elevada temperatura es energía de baja entropía, utilizable.

Esta ley tiene muchas expresiones. Entre ellas están "la entropía del universo está en cons-

tante aumento". Esto significa que la energía tiende a degradarse, a convertirse en calor no utilizable aun cuando no se aprovecha para realizar trabajo.

"No puede existir un proceso cuyo único efecto sea una disminución local de entropía". O sea que sí puede haber una disminución local de entropía, siempre que exista un aumento mayor de entropía en otra parte para que siempre exista un aumento neto de entropía.

Un concepto importante en termodinámica es el de **equilibrio**: Un sistema estará en equilibrio cuando en él no exista tendencia alguna al cambio: Otra forma de expresar la segunda ley es: "con el paso del tiempo todos los sistemas tienden hacia un estado de equilibrio". O sea, que el aumento de la entropía equivale a un acercamiento al estado de equilibrio. (Sandler, 1977). Por ejemplo, un vaso de cerveza helada en un cuarto caluroso, no están en equilibrio térmico, pero al cabo de cierto tiempo la cerveza se entibia y su temperatura llega a ser igual que la del cuarto; se ha llegado al equilibrio.

Todo trabajo se realiza a costa de degradar energía de baja entropía y convertirla en calor a temperatura ambiente, energía de alta entropía. Esto significa que la energía libre no es reciclable ya que sólo se puede utilizar para producir trabajo una sola vez. Además implica que "no existe nada que sea realmente gratis", porque la energía libre, de baja entropía, es la que tiene valor económico y todo trabajo es a costa de energía libre (Georgescu, 1971). Estos conceptos son también aplicables a la materia a través de la termodinámica estadística. La materia organizada, utilizable, es de baja entropía; la materia desorganizada, no utilizable, es de alta entropía. Así pues, la materia organizada, como por ejemplo, un edificio, un clavo de hierro, o un animal vivo, se puede decir que posee baja entropía; con el paso del tiempo, debido a la segunda ley, esa organización se pierde; el edificio se hace ruinas, el clavo se corroe, y el animal muere y se descompone; su entropía ha aumentado. Se puede ver, pues, que la baja entropía tiene valor económico. Una forma sencilla de observar la acción de la entropía es introduciendo una gota de tinta en un vaso de agua, al cabo de cierto tiempo se llega a un equilibrio en el que la tinta está uniformemente dispersa en el agua; se puede volver a concentrar la tinta, pero esto requerirá un gasto de energía libre.

Estos conceptos se pueden visualizar en el esquema clásico de la máquina térmica. Esta es

una máquina conceptual para transformar el calor en trabajo; necesita una fuente de calor a alta temperatura, o sea, de energía de baja entropía y un resumidero para el calor a baja temperatura desechado, o sea, energía de alta entropía. La primera ley, pues, nos dice que el calor a baja entropía consumida por la máquina es igual al trabajo realizado más el calor a alta entropía desechado; la segunda ley nos dice que la energía de baja entropía se transforma en energía de alta entropía (el trabajo realizado eventualmente se disipa en el ambiente en forma de calor, energía de alta entropía, debido principalmente a procesos de fricción).

Visto en una forma más sencilla puede imaginarse un tren movido por combustión de carbón, que va desde una ciudad a otra. Al principio la cantidad de carbón disponible representa materia y energía de baja entropía, energía libre disponible. Durante el viaje se realiza un trabajo útil, pero el carbón se va transformando en cenizas y gases, o sea, materiales de alta entropía, no utilizables. En este proceso se ilustran las leyes de la termodinámica, la cantidad de materia y energía presentes originalmente se han conservado pero ha ocurrido un cambio cualitativo irrevocable; ha aumentado su entropía. Es de notar que la cantidad de carbón se habría degradado espontáneamente a lo largo del tiempo, aún sin intervención humana; esta intervención lo que ha hecho es simplemente acelerar el proceso. La segunda ley de la termodinámica es tan general como la Ley de la Gravitación Universal; esta última indica cuáles son las direcciones en el espacio hacia abajo y hacia arriba. En cambio, la segunda ley indica las direcciones en el tiempo del pasado y del futuro, el futuro es la dirección en que aumenta la entropía, o sea, la dirección en que disminuye la disponibilidad de materia y energía libres, utilizables. Estas leyes de la termodinámica funcionan como base para el ordenamiento de la ecología en todos sus niveles.

La ecología

La ecología también se originó en el siglo pasado, pero el reciente reconocimiento general de su importancia data desde hace unos veinte años debido a la creciente aplicabilidad de sus conceptos a la situación actual. Tal vez sea la más importante de todas las ciencias, porque se puede considerar como la de "la aplicación práctica de todas las ciencias para la supervivencia del ser humano". El nombre "Ecología" significa el



Desarrollo sin destrucción

estudio del ambiente o lugar donde se habita y se puede definir la ecología como "el estudio de las interrelaciones de los organismos vivos con su medio ambiente físico-químico" o, más ampliamente, como "el estudio de la totalidad del hombre y del ambiente". Es de notar que el biólogo alemán Ernst Haeckel en 1870 describió la ecología como "el conocimiento sobre la economía de la naturaleza". (Sewell, 1975).

Un concepto muy importante en Ecología es el de **ecosistema**, o sistema ecológico. Este es "un sistema compuesto por determinado medio ambiente físico-químico y los seres vivos que lo habitan". En estos sistemas existen componentes vivos y además componentes físicos, no vivos. Los ecosistemas son sistemas naturales en los que las relaciones de intercambio de materia se dan principalmente con componentes dentro del mismo sistema (Turk, 1976). Ejemplos de ecosistemas pueden ser un bosque, un arroyo, un lago, o un ser humano y los puede haber muy pequeños, como un frasco de laboratorio con especímenes, o sea puede hablar del ecosistema general de la tierra, la "biósfera", la delgada capa sobre la superficie del planeta en que es posible la vida (Hutchinson, 1970).

Un organismo o ser vivo se puede considerar como un sistema de materia altamente organiza-

do cuyas funciones básicas son la supervivencia y la reproducción. Desde el punto de vista de la termodinámica los seres vivos son un fenómeno muy interesante, ya que son sistemas alejados del equilibrio, de baja entropía, y que se mantienen en ese estado por largos periodos de tiempo, como si logran detener los efectos de la segunda ley.

La explicación de esto es que para mantener ese estado organizado alejado del equilibrio, todo ser vivo necesita realizar un trabajo constante en contra de la segunda ley, lo cual implica un consumo más o menos constante de energía y materia de baja entropía, alimentos, así como también necesita excretar sus desechos, materia y energía de alta entropía, no usables, más o menos constantemente. Si se le impide a un organismo vivo el realizar cualquiera de estas necesidades, su funcionamiento eventualmente se detiene y el organismo muere, con lo que su materia se iría acercando al estado de equilibrio.

Desde el punto de vista de la termodinámica, los seres vivos son semejantes a la máquina térmica; necesitan una fuente de energía de baja entropía y un resumidero para la energía de alta entropía desechada; logran mantener el estado altamente organizado de la vida solamente a costa de un continuo incremento de la entropía. Es

evidente que los organismos vivos se alimentan de materia y energía de baja entropía y producen materia y energía de alta entropía. Son estructuras complejas de baja entropía que mantienen su estado alejado del equilibrio, o sea, la vida, mediante ese consumo constante de baja entropía. Estos sistemas o "estructuras disipativas" han sido estudiadas por Prigogine (1977) que ha analizado la similitud termodinámica entre los sistemas químicos alejados del equilibrio, los organismos vivos y los sistemas sociales. Es interesante notar que la presencia de seres vivos acelera el consumo de los recursos de baja entropía de su medio ambiente.

Esto lleva a un concepto muy importante en ecología, el de estructura trófica, el término viene del griego *trofe*, alimento, equivalente a decir energía. La fuente básica de energía de la tierra es el sol, el cual obtiene su energía a partir de la conversión de materia en energía de baja entropía, $E = mc^2$, por medio de reacciones de fusión nuclear. El sol emite energía radiante de baja entropía la cual llega a la tierra a una temperatura efectiva de unos 6000° K; la tierra, a su vez, re-emite esta energía como energía radiante de alta entropía a una temperatura de 255° K (Oort, 1970). Esta energía es la que impulsa los fenómenos meteorológicos, evaporación del agua, lluvias y vientos, de los cuales se pueden obtener la energía hidroeléctrica y la eólica. Se puede ver, pues, que la tierra funciona como una gigantesca máquina térmica en que existe un balance de energía y una degradación entrópica.

Una pequeña parte de esta energía recibida por la tierra es capturada por los seres vivos capaces de fotosíntesis (plantas), aunque con una eficiencia bastante baja (de alrededor del 0.1%; Woodwell, 1970). Estos organismos fotosintéticos constituyen el primer nivel trófico de un ecosistema, ya que son éstos los que transforman la energía solar en alimento, o sea, energía química de baja entropía, para todo el ecosistema. De estas plantas pueden alimentarse los animales herbívoros, que constituirían un segundo nivel trófico, y de éstos, a su vez, los carnívoros, que constituirían el tercer nivel trófico. Este sería un ejemplo sencillo de cadena alimenticia, o sea, de cómo va pasando la energía solar de unos organismos a otros, de cómo fluye esta energía a través de la biósfera. En general estas cadenas tienden a ser mucho más complejas, especialmente en el mar, en donde se pueden más bien llamar redes alimenticias, (Odum, 1972).

Es importante notar que al alimentarse un organismo de otro, o sea, en el paso de un nivel trófico al siguiente, se pierde en forma de calor alrededor del 90% de la energía disponible en ese nivel.

Así, pues, la energía solar capturada por los seres vivos es utilizada por éstos para mantener su vida; en este proceso aumenta su entropía con lo que se disipa en forma de calor al ambiente y luego al espacio. Cada cantidad de energía solar de baja entropía sólo puede ser utilizada una vez por el ecosistema, pero afortunadamente este suministro se puede considerar como ilimitado.

Además de este flujo de energía solar a través del ecosistema, existen flujos constantes de materiales entrando y saliendo del ecosistema. Pero dentro del ecosistema los materiales pueden ser ciclados muchas veces o casi indefinidamente; esto es, los materiales o elementos químicos pueden pasar de la parte viva a la parte física del ecosistema y viceversa, o bien puede haber ciclos que se cierran entre varios ecosistemas. A estos fenómenos de ciclado de elementos químicos se les llama **ciclos ecológicos biogeoquímicos**. Los mecanismos específicos de estos ciclos pueden ser muy complejos; existen ciclos ecológicos para todos los elementos químicos biológicamente importantes; oxígeno, carbono, agua, nitrógeno, fósforo, azufre y muchos otros más.

Como ejemplo de ciclo ecológico se puede considerar parte del ciclo del carbono: en éste se puede observar cómo el carbono pasa de unas partes del ecosistema a otras, y pasa de la parte viva del ecosistema a la parte no viva del ecosistema y viceversa. Si se comienza el ciclo considerando el dióxido de carbono contenido en la atmósfera, se puede ver que éste es fijado en carbohidratos por medio de la fotosíntesis de las plantas y la energía solar. Estos carbohidratos de las plantas pueden ser comidos por animales y luego, dentro de los tejidos de los animales, pueden ser a su vez oxidados por medio de la respiración para dar la energía que se necesita para el metabolismo animal, de nuevo liberando el dióxido de carbono a la atmósfera, con lo que se completaría el ciclo.

En condiciones normales la cantidad de carbono que se encuentra en la atmósfera, en las plantas y en los animales es aproximadamente constante, o sea, estable. Una prueba de la interferencia del ser humano en estos ciclos, es que la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado notablemente en tiempos recientes,

debido a la combustión de los depósitos fósiles de carbono en cantidades cada vez mayores. Esto puede tener consecuencias sobre los delicados balances ecológicos, ya que el dióxido de carbono es importante para la regulación de la temperatura global terrestre y además es importante para los equilibrios de acidez de los cuerpos de agua naturales, lagos, ríos y mares (Bolin, 1971; Stumm, 1977).

El ciclo completo del carbono es más complejo, incluye la respiración de las plantas, el suelo y la interacción con el dióxido de carbono disuelto en los cuerpos de agua. Para los otros elementos existen ciclos correspondientes de similar o mayor complejidad. Además se puede observar que en la parte mencionada del ciclo del carbono intervienen también el oxígeno y el agua, o sea, que parte de este ciclo es también parte de los ciclos del oxígeno y del agua; todos los ciclos ecológicos están complejamente entrelazados, una alteración sobre uno tiene efecto sobre los otros.

Los microorganismos, presentes en todas partes de la biósfera, juegan un papel muy importante en todos estos ciclos mediante los cuales las sustancias desechadas por los seres vivos son reciclados a formas utilizables de nuevo por ellos. Todos estos procesos, por supuesto, requieren consumo de energía de baja entropía.

Se puede ver, pues, como los ecosistemas enteros son semejantes a los seres vivos, estructuras complejas, de baja entropía que para mantener este estado alejado del equilibrio requiere, al igual que la máquina térmica, un suministro de energía de baja entropía y un resumidero (en este caso el espacio sideral) para la energía de alta entropía desechada.

Las estructuras tróficas de la biósfera, sus cadenas y redes alimenticias y sus ciclos biogeoquímicos, son estructuras sumamente delicadas que han tardado millones de años en formarse. El ser humano sólo muy recientemente ha comenzado a tener una idea de las enormes dimensiones del tiempo y del espacio del universo que lo rodea (Teilhard de Chardin, 1955). Puede ser instructivo mencionar algunas de las edades aceptadas para eventos importantes en la cronología de la biósfera, formación de la tierra, hace 4500 millones de años; los microorganismos más antiguos aparecen hace 3000 millones de años; microorganismos con núcleo, hace 1500 millones de años; organismos multicelulares, hace 600 millones de años; los peces aparecen hace 400 millones de años; los dinosaurios hace 300

millones de años y los mamíferos hasta hace 100 millones de años únicamente (Christman, 1973).

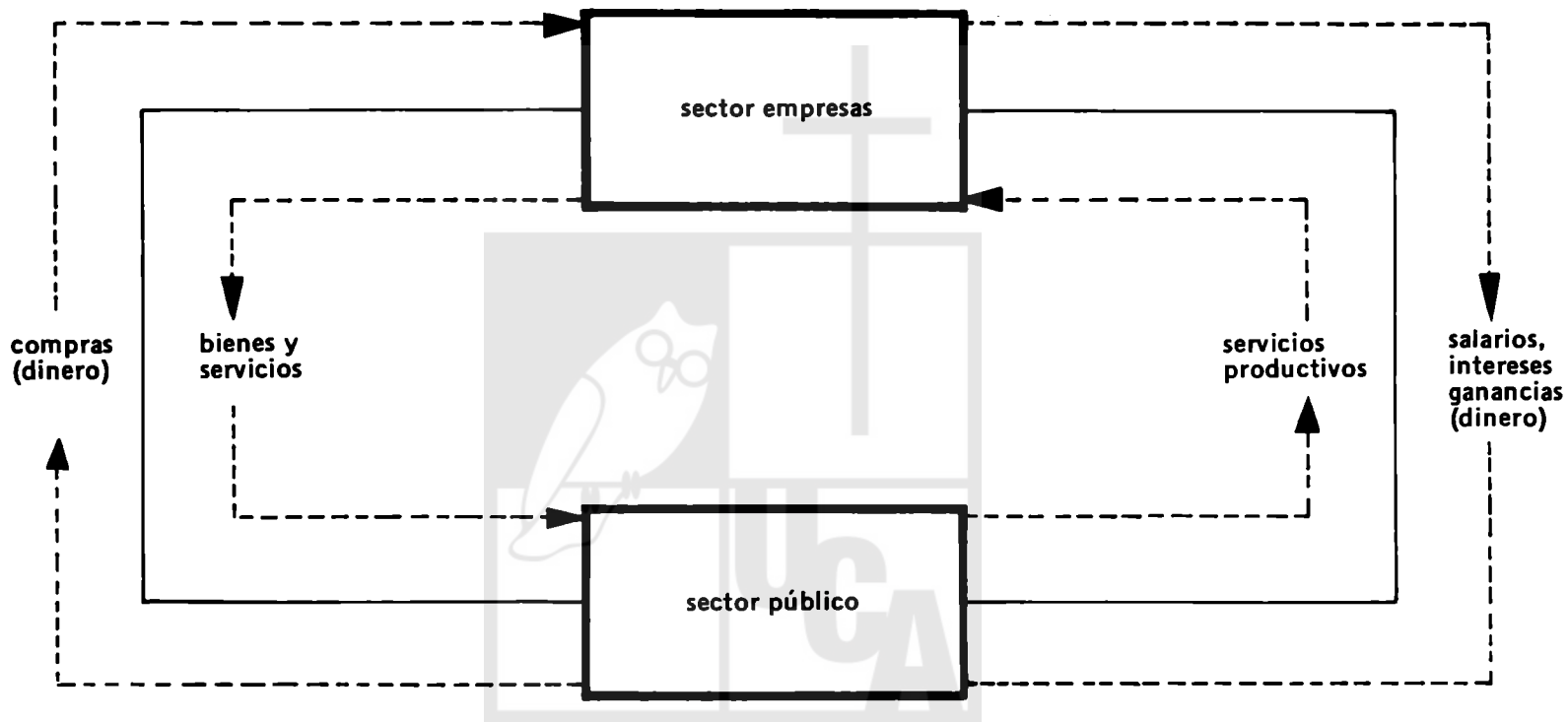
El ser humano aparece hace alrededor de cuatro millones de años, pero no tiene ningún impacto significativo sobre la ecología sino hasta hace unos diez mil años con el descubrimiento de la agricultura. Antes de esto los efectos de las actividades del ser humano eran un factor completamente despreciable. Pero desde hace unos 200 años, con la revolución industrial, el impacto se ha hecho realmente notorio, principalmente en la forma de flujos en cantidades industriales, de materiales y desechos, tanto sólidos como líquidos y gaseosos, entrando en los ciclos naturales. En años recientes la aceleración de estos flujos continúa al ir aumentando el desarrollo industrial; estos flujos pueden sobrecargar los mecanismos naturales de autodepuración por las cantidades o por la toxicidad de las sustancias involucradas. Así, pues, por ejemplo, la introducción de una gran cantidad de fertilizantes conteniendo nitrógeno, o detergentes conteniendo fósforo, pueden contaminar un río o un lago volviendo imposible la pesca o la recreación; o la introducción de efluentes industriales conteniendo sustancias tóxicas, como pesticidas o sustancias carcinogénicas o radioactivas, pueden dañar ecosistemas enteros o producir grandes problemas de menoscabo de salud humana, ya que pueden no existir sistemas naturales para detoxificar muchas de estas sustancias (Verstraete, 1981). El introducir dentro de un organismo vivo sustancias tóxicas por su cantidad o calidad puede fácilmente dañar su salud o causarle la muerte; lo mismo ocurre con los ecosistemas; además, es obvio que ningún organismo puede sobrevivir en un medio ambiente saturado de sus productos de desecho; ésta es una consecuencia de la segunda ley.

El buen funcionamiento de los sistemas ecológicos es esencial para una vida humana razonablemente agradable; sin embargo, en la actualidad pareciera ésto tener una importancia secundaria con respecto al desarrollo económico.

El proceso económico

De acuerdo a lo discutido anteriormente, gran parte de los problemas ecológicos recientes provienen de la aceleración del proceso económico. Un esquema simplificado del concepto del proceso económico, aceptado por la mayoría de los economistas modernos, se representa en la Figura 1 (Samuelson, 1967). En ésta se puede ob-

Figura 1 Esquema simplificado del proceso económico



FUENTE: Samuelson, 1967.

La esencia del problema general ecológico- económico consiste en la contradicción existente entre la idea de la necesidad del crecimiento no limitado del proceso económico y de la población, y la realidad de un mundo con recursos físicos limitados...

servar: uno, un flujo circular de dinero entre el sector de empresas y el sector público y, dos un flujo circular en sentido inverso de bienes, servicios y servicios productivos. El sector público compra bienes y servicios al sector empresas y el sector empresas paga los servicios productivos del sector público por medio de salarios, intereses y ganancias (en este esquema simplificado el sector gubernamental estaría repartido entre los dos sectores mencionados). Eso corresponde a la visión del hombre de negocios, ya que todo lo que se ve es dinero que pasa de unas manos a otras, sin salirse del proceso económico (Georgescu, 1971).

A la cantidad de dinero ciclado en una nación en un año es a lo que se llama Producto Nacional Bruto (PNB), esto es, "la suma a valor de precios de mercado del total de bienes y servicios producidos por una nación en un año", o bien, la "suma total de los gastos anuales en bienes y servicios por personas o gobierno en una nación más el valor de las exportaciones y menos el valor de las importaciones, y más la inversión privada". Puede ser un índice económico muy útil.

El PNB dividido entre el número de habitantes nos da una medida llamada "PNB per-cápita"; este parámetro es muy utilizado como un índice del desarrollo económico de una nación. La respuesta de muchos economistas de renombre para la generalidad de los problemas actuales de las naciones es "más desarrollo económico", lo que equivale a acelerar los flujos de dinero y de bienes y servicios mencionados anteriormente (Friedman, 1980; Samuelson 1976; Tobin, 1972).

Específicamente, la respuesta de los economistas a los problemas ambientales es más crecimiento económico para poder pagar los sistemas de protección ambiental. Dada esta situación, no es ninguna sorpresa que la mayoría de los dirigentes políticos y económicos del mundo esté de

acuerdo con el crecimiento perpetuo del proceso económico.

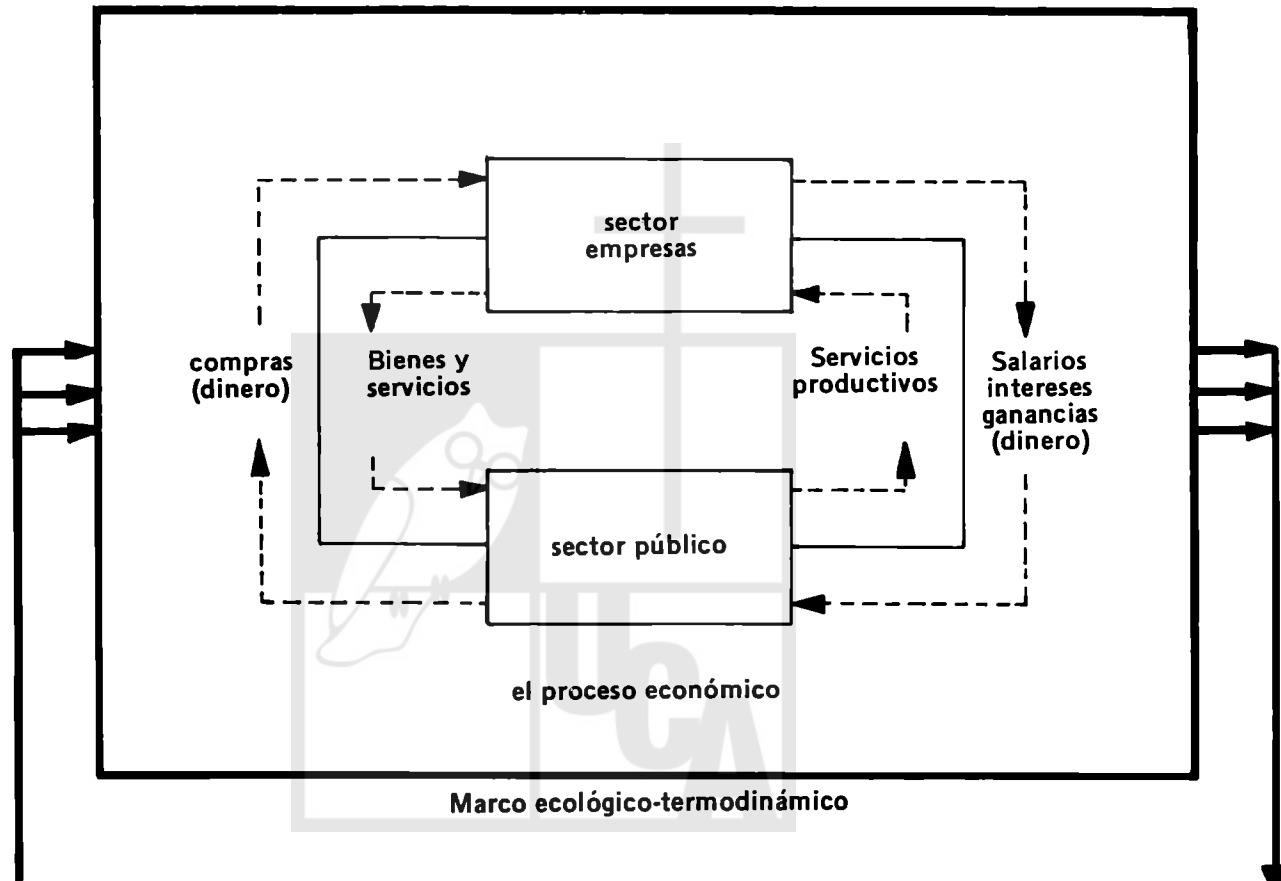
¿Y por que no? Desde este punto de vista no existe ningún daño en eso. El dinero no se destruye en ningún sentido real, sólo hay que reciclarlo cada vez más rápidamente. Pero para una persona con conocimientos de termodinámica y, en especial, en vista de lo discutido anteriormente, esta visión es sospechosa; se parece mucho a una "máquina de movimiento perpetuo de segunda clase" que no puede existir porque viola la segunda ley.

En realidad, el concepto es incompleto, el proceso económico no existe aislado, sino que está inmerso en un marco ecológico-termodinámico tal como se puede observar en la Figura 2. Así, pues, en este esquema se puede observar que el proceso económico consume recursos minerales y energéticos de baja entropía y desecha materiales y energía con alta entropía no usables, o sea, contaminación. Lo que mueve, pues, a los ciclos del proceso económico es un flujo de materia y energía que aumentan su entropía de modo semejante a lo que ocurre con cualquier organismo vivo. Es más, se puede afirmar que el proceso económico en este respecto es como un organismo vivo.

Con esto se puede observar que el concepto tradicional de desarrollo económico, el aumentar el PNB, o sea, el aumento de la velocidad del ciclado de dinero en el proceso económico, sólo se puede lograr acelerando el aumento de la entropía total del sistema, o sea, aumentando el consumo de recursos y la producción de desecho y contaminación.

Ahora, los recursos disponibles para el proceso económico son básicamente de dos clases, el **flujo** de energía solar y las **reservas** de minerales y energéticos de baja entropía contenidos dentro de la tierra. El flujo de energía solar de baja entropía se puede considerar como ilimitado, pero la única "red" con que se puede atrapar es la

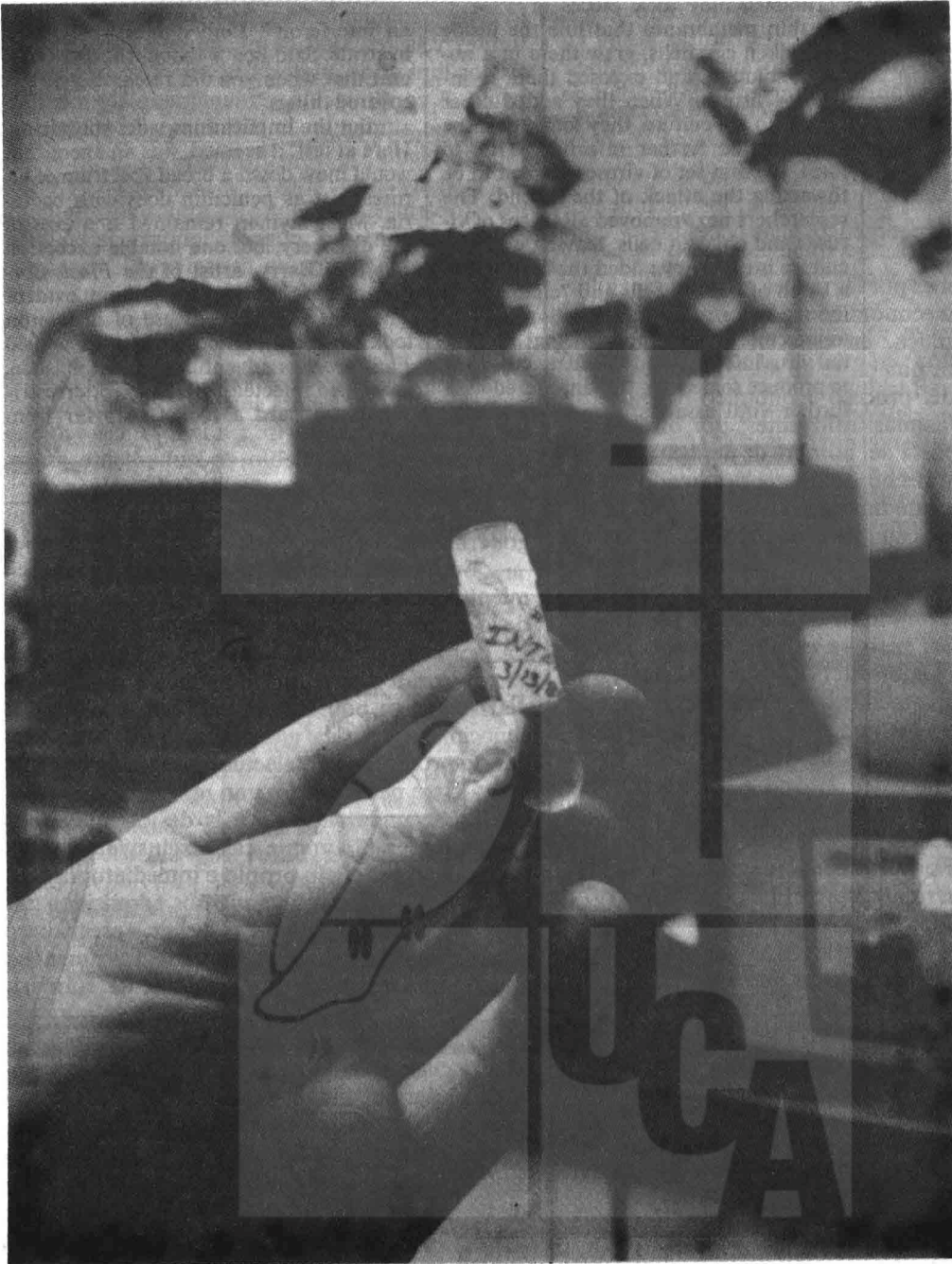
Figura 2 Esquema del proceso económico dentro de su marco económico-termodinámico



Recursos minerales y energéticos de baja entropía. Energía libre. Yacimientos concentrados y fácilmente accesibles. Limitados.

Desechos de Alta entropía. Materia y energía no usables. Energía no libre. Contaminación.

Fuente: Georgescu, 1971.



tierra, que es limitada y, como se ha visto, la eficiencia con que se puede atrapar es muy pequeña. El aumentar esta eficiencia, por ejemplo, con la agricultura mecanizada requiere el uso de las reservas de minerales y energéticos dentro de la tierra, las cuales, como la tierra misma, son limitadas.

Los recursos derivados del flujo de energía solar serían los llamados "recursos naturales renovables", mientras que los que provienen de las reservas dentro de la tierra serían los "no-renovables".

Así, pues, el apegarse al concepto tradicional de desarrollo económico significa termi-

nar más rápidamente los recursos no renovables, condenando a las generaciones futuras a una vida de pobreza y, por otro lado, significa producir más contaminación, disminuyendo la calidad de vida en el presente.

Asimismo, la continua inflación actual posiblemente se deba, en parte, a estarse agotando la reserva de más baja entropía, los yacimientos de minerales y energéticos más accesibles y concentrados.

Las razones por las cuales no se han incluido en el esquema económico tradicional las bases de la termodinámica, en especial la segunda ley, pueden ser por una parte un apego a un esquema mecanicista del proceso económico de parte de los ecosistemas más influyentes; por otra parte, la visión simplista del hombre de negocios y, además el simple hecho de que el desarrollo de las bases de la termodinámica, y en especial la segunda ley, fue posterior al desarrollo de las bases de los sistemas económicos modernos. Así, pues, estas ideas representan un cambio radical en el pensamiento económico tradicional y aún no son muy aceptadas; pero ya existen muchos economistas, como Galbraith (1979), que afirman que el PNB o es una medida adecuada del desarrollo y otros, como Boulding (1966), Georgescu (1971) y Schumacher (1973), que afirman que el crecimiento sin límites del proceso económico no es una alternativa deseable. Asimismo, muchos hombres de ciencia han previsto que el aumento sin límites del proceso económico llevará a la civilización a un final catastrófico (Meadows, 1972; Mesarovic, 1975; Ehrlich, 1977).

El camino que parece ser más aceptable para pasar esta crisis consiste en buscar el desarrollo apropiado y con límites de los PVD dentro de un contexto de "de-desarrollo" de los PD también con límites, entendiéndose por "de-desarrollo" una disminución de flujo de materiales y energéticos no renovables utilizados por sus economías.

Esto requerirá un grado de cooperación internacional sin precedentes. Algunos economistas no pueden concebir un proceso económico sin crecimiento, pero hay que reconocer que los organismos sanos no crecen sin límites, para éstos después del periodo de crecimiento, de la infancia, llega el periodo de la madurez.

Agravantes del problema

El problema ecológico-económico básico consiste en la contradicción existente entre la

idea de crecimiento económico y poblacional sin límites y la realidad de un mundo con recursos físicos limitados, materiales, energéticos y de espacio. A continuación se mencionan algunos factores que aumentan la dificultad de solucionar este problema.

a) **Ignorancia.** Esta es la raíz básica de todos los problemas y dificulta la aplicación de cualquier solución. Así, pues, la ignorancia en cualquier actividad humana causa problemas, pero en la actualidad tiene una importancia en particular la ignorancia ecológica de los dirigentes económicos y políticos. Si los dirigentes de los PD recomiendan desarrollo económico, tanto para los PD como para los PVD, es muy difícil recomendar lo contrario. La ignorancia ecológica en general del pueblo es sumamente grave, porque implica la incapacidad de tomar decisiones ecológicamente sanas y de exigírselas a sus gobernantes.

En base a la cantidad y calidad de conocimientos adquiridos se puede hacer una división de la especie humana en tres clases de individuos. La primera clase sería la de los individuos que "no piensan" más allá del marco de su vida diaria, y cuya pobreza en cantidad y calidad de conocimientos limita grandemente sus posibilidades de producción intelectual; desgraciadamente a esta clase pertenece la gran mayoría de la especie. La segunda clase sería la de los individuos que "piensan", aunque casi exclusivamente en función del beneficio propio e inmediato; la cantidad y calidad de conocimientos adquiridos por éstos ya les permite planear, dirigir y crear, pero por lo general su visión es limitada únicamente a aquello que les concierne directamente; aún así, el número de personas de esta clase es muy pequeña, mucho menor que el de la primera. La tercera clase es la de aquellos individuos que, debido a la gran calidad y cantidad de sus conocimientos, además de pensar en el beneficio a mediano y largo plazo, tanto propio como de sus seres queridos, lo cual implica pensar en el beneficio de la comunidad, tanto inmediata como global. Debido a que el adquirir conocimientos de calidad requiere dedicación, tiempo, esfuerzo y cierta dirección (Se puede decir que es una actividad "anti-entrópica"), cabe esperar que el número de personas de esta tercera clase sea, a su vez, mucho menor que el de la segunda clase.

Un individuo de la primera clase tiende a considerar que el conocimiento no compensa el esfuerzo que requiere el adquirirlo; uno de la se-

gunda valora el conocimiento principalmente por la ventaja monetaria o de poder sobre los demás que le pueda dar; en cambio, uno de la tercera clase lo valora primariamente por el acercamiento hacia los demás que le permite, por la visión que le da sobre el significado de su vida y la de otros, por la capacidad que le da de ayudar, por el goce "en sí" de saber el porqué y el cómo de las cosas, y el de la capacidad que le da de realizarlas (Fromm, 1956).

Es más, tiene mayor probabilidad de tener éxito como dirigente político o económico un individuo de la segunda clase que un individuo de la tercera clase simplemente porque su problema a resolver es más sencillo; tiene menos factores que tomar en cuenta. Es más fácil resolver únicamente el problema del bienestar inmediato y aparente propio o de un grupo reducido, que el problema del bienestar real y a largo plazo, propio y de la comunidad.

En parte a eso se debe el fenómeno de la "trampa cósmica" a la que se enfrenta la humanidad al presente. Sus dirigentes, debido a lo limitado en calidad y cantidad de sus conocimientos, tienden a ser individuos aparentemente sin la capacidad para comprender la naturaleza del problema ecológico-económico, de sus implicaciones, o de sus posibles soluciones, con lo que la extinción en un futuro próximo de la especie humana o, al menos, de la actual civilización tecnológica se vuelve una realidad demasiado probable.

b) Población. El consumo de recursos de una nación se puede considerar como el producto de dos factores; uno, el consumo de recursos promedio por habitantes, y el otro, el número de habitantes, o sea, la población. Así, pues, el consumo total será directamente proporcional a cada uno de estos factores.

Las mismas razones que limitan el crecimiento indefinido del proceso económico limitan el crecimiento indefinido de la población; así que tarde o temprano la población tendrá que estabilizarse. Dada la naturaleza limitada de los recursos naturales también tarde o temprano tendrá que limitarse el consumo total. Si para ese tiempo la población es muy numerosa, el consumo por habitante será en extremo pequeño y, ya que los recursos son necesarios para el bienestar material, esto significa un bajo nivel de bienestar material para esa población. Así, pues, dentro de ciertos límites, mientras menor sea la población para ese tiempo, mayor podrá ser el consumo por

habitante, lo que equivale a un mejor nivel de bienestar material.

Esto a su vez indica que, si lo que se desea es un nivel de bienestar material razonable para toda la población, es necesario limitar su crecimiento. Es de notar que en el futuro es posible una extensa automatización del proceso industrial, lo cual podría significar un nivel de bienestar razonablemente agradable, si la población fuera lo suficientemente pequeña (Albus 1975).

La anterior discusión se refiere a una situación hipotética en que el consumo fuera equitativo. En la realidad de El Salvador al presente, el mayor aumento poblacional ocurre en las clases más pobres e ignorantes, con un consumo muy reducido de recursos por individuo. Esto indica para el futuro a mediano plazo, por una parte, un grave potencial de tensión social y, por otra parte, si se logra resolver el problema de mejorar el nivel de vida de estos individuos individuos, un gran aumento en el consumo total de recursos.

c) Falta de humanismo. Esta consiste en la apatía que tienen muchos individuos, aún algunos de elevada capacidad intelectual, por los problemas de la comunidad. Puede considerarse como una forma de ignorancia o como una lamentable forma de economía de pensamiento, ya que los problemas de la comunidad eventualmente afectan a cada individuo. Especialmente en el tiempo presente es necesario ver más allá del bien propio e inmediato.

d) Pseudoinformación. Esta es una concomitante de los enormes flujos de información existentes en los tiempos presentes, y se refiere a la catidad de información que parece ser verdadera, pero que no lo es. El problema es que adormece a las gentes en la inacción.

Cierto tipo de pseudoinformación puede generar la actitud de que, "no hay que preocuparse porque pronto ocurrirá un evento sobrenatural que solucionará todos los problemas". Esta es una posición infantil e irresponsable.

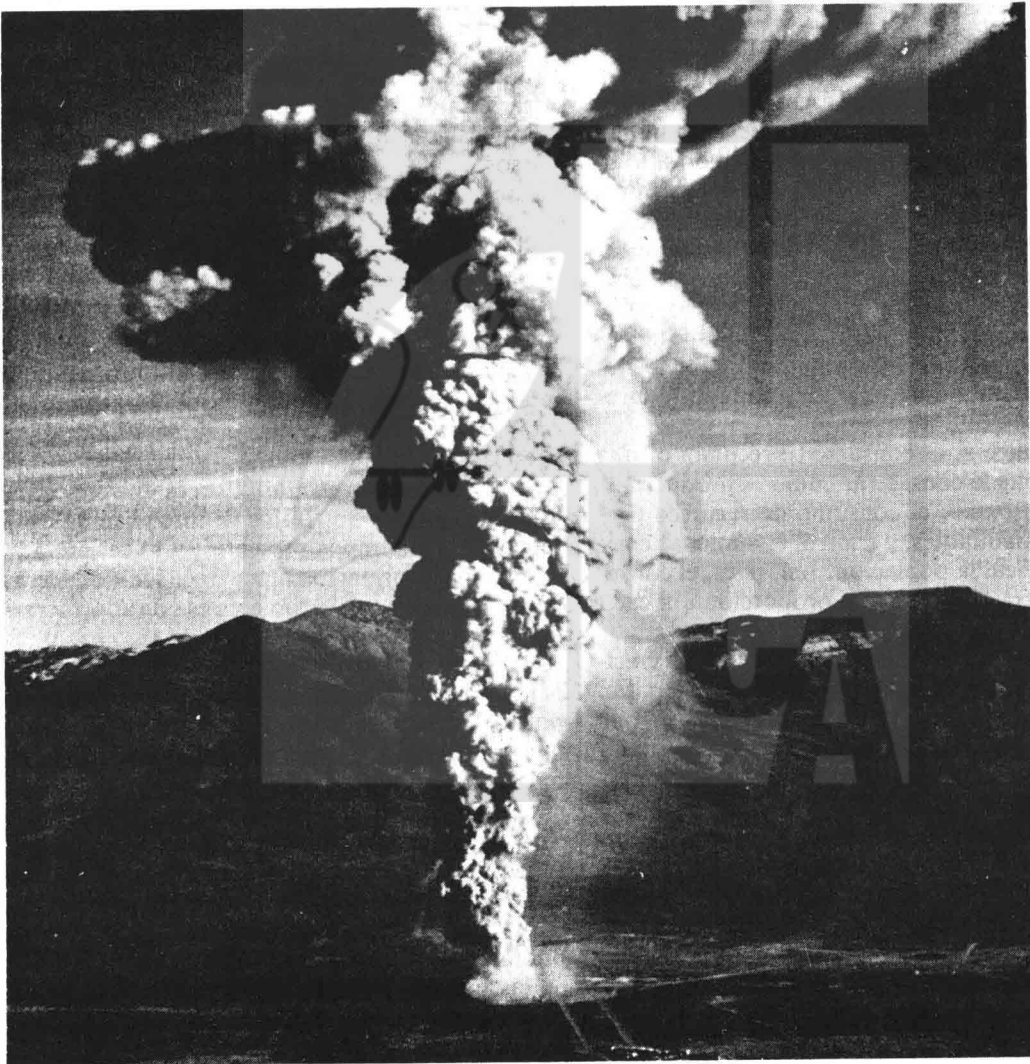
Otro tipo puede generar la actitud de que, "no hay que preocuparse porque la tecnología solucionará todos los problemas", o bien, más específicamente, que "la tecnología pronto nos dará energía barata ilimitada, con lo que se podrá extraer cualquier material requerido hasta de las piedras comunes o del mar". Esto es un concepto un poco más insidioso porque apela a la gente inteligente de mentalidad positiva. El

problema con esta concepción es qué ocurriría si la tecnología no lograra producir esa energía barata ilimitada. Aun en caso de que se lograra producir energía ilimitada, por ejemplo, con plantas de potencia orbitales o de fusión nuclear, es muy difícil que sea barata debido al costo fijo elevadísimo de estas instalaciones; además, debido a la segunda ley, cualquier uso de energía necesariamente genera calor; un uso ilimitado de energía implica una generación ilimitada de calor que tendría como consecuencia alteraciones climatológicas de la tierra que llevarían a un desastre ecológico.

e) Complejidad. Otro factor agravante es la complejidad de las interrelaciones entre los componentes del problema. En un análisis de siste-

mas simplificado por medio de modelos de computador, tomando como factores más importantes el crecimiento de la población, la contaminación ambiental, la agricultura, la industrialización y el consumo de recursos, se llegó a la conclusión de que si no se controlan al menos todos estos factores simultáneamente, sobrevendrán catástrofes ecológicas en un período de tiempo relativamente corto, de unos 50 a 100 años. El efecto de estas catástrofes sería una disminución brusca en la población humana de la tierra (Meadows, 1972; Mesarovic, 1975).

Es patético darse cuenta de que es muy posible llegar a un punto en que una futura civilización que surgiera de las ruinas de la presente, ya no tendría la oportunidad del desarrollo in-



Los esquemas económicos tradicionales no incluyen entre sus fundamentos la segunda ley de la termodinámica. Esto supone terminar más rápidamente con los recursos no renovables condenando a las generaciones futuras a la pobreza y significa producir más contaminación, disminuyendo la calidad de la vida en el presente.

dustrial, por falta de recursos disponibles de baja entropía, debido a que la mayoría de los yacimientos fácilmente accesibles de alta calidad de minerales y energéticos estén ya siendo utilizados o bien prácticamente acabados, y los que pudieran quedar probablemente no podrán ser explotados por tecnologías sencillas (Hoyle, 1977).

Posibles respuestas

Entre las posibles respuestas a los problemas discutidos anteriormente se pueden mencionar:

a) **Conocimiento.** Si la ignorancia es la raíz básica de todos los problemas, cabe pensar que difundir más conocimiento, más realista, a más gente, podría ayudar a su solución.

En particular, dada la naturaleza básicamente ecológica del presente problema, se hace necesario lograr un "alfabetismo ecológico" de toda la población, ya que, por una parte, de ésta surgirán los futuros dirigentes económicos y políticos que trabajaron en la solución de estos problemas y, por otra parte, porque una población con conocimiento de causa cooperará más activamente con estas soluciones. Dada la importancia vital de estos problemas se hace necesario incluir en todos los niveles educativos, primarios, medios y universitarios, asignaturas obligatorias para toda la población estudiantil en las que se expongan los principios generales de la ecología. Sócrates decía que "el conocimiento verdadero implica la acción correcta", lo cual tal vez no es tan cierto como se quisiera, pero sí al menos cabe creer que aumenta las probabilidades de esa acción.

b) **Humanismo.** Se puede definir como el creer que todo ser humano debería tener el derecho a una vida digna y ennoblecedora", y es una creencia que puede surgir al lograr el individuo una elevada calidad y cantidad de conocimientos. Es-

ta creencia puede surgir a partir de bases intelectuales, religiosas o bien éticas.

Puede surgir de bases intelectuales, al darse cuenta el individuo que no se puede vivir una vida agradable y tranquila, deseable, en una comunidad en donde exista gran número de individuos sin la posibilidad de un desarrollo intelectual y material sano, o sea, no se puede vivir bien en una comunidad en la cual muchos individuos están mal.

Puede surgir de bases religiosas como, por ejemplo, al creer el individuo que si todos los seres humanos son hijos de Dios, deben tratarse como tales.

Puede surgir también de bases éticas, al llegar a sentir el individuo que le es ofensivo que seres semejantes a él se vean obligados a existir en condiciones de degradación física y de oscuridad mental.

Dado que la solución de los problemas mencionados anteriormente requerirá un grado sin precedentes de cooperación internacional, y dentro de cada país, es vital que esta cualidad se desarrolle en el mayor número posible de individuos. Esta cualidad, en realidad, es un ingrediente necesario para cualquier solución permanente, y es a partir de personas con esta orientación como han surgido los esquemas de soluciones presentadas por Schumacher, (1973), Tinbergen (1976) y Ehrlich (1977). Un factor que podría ayudar a este desarrollo del humanismo sería la enseñanza en un nivel educativo primario de los principios básicos del análisis transaccional, una corriente psicológica extraordinariamente sencilla que enfatiza la similitud de estructura mental entre todos los seres humanos y facilita la comprensión de sí mismo y de los demás (Harris, 1973; James, 1976).'

c) **Tecnología apropiada.** Esta se refiere a una reorientación de la tecnología tanto en los PD como en los PVD, para lograr una participa-



El desarrollo adecuado del sector agropecuario es vital para el bienestar de la población de El Salvador.

ción más humana de la persona en el proceso productivo y disminuir el consumo de recursos naturales no renovables y el daño ambiental. Específicamente, significa el uso de los descubrimientos tecnológicos e información moderna para desarrollar procesos de producción con un costo de inversión de capital mucho menor que los procesos similares utilizados en los PD y con los cuales se pueda lograr generación de empleos e ingresos (Schumacher 1973).

La tecnología es una de las bases del bienestar material y un grado mínimo de bienestar material es necesario para un desarrollo intelectual sano. Esto implica la necesidad de un mayor desarrollo tecnológico de los PVD. Así, pues, la tecnología apropiada se refiere al uso de procesos tecnológicos apropiados a la naturaleza del ser humano y la ecología.

Entre las características deseables de una tecnología apropiada están (Oliva 1980).

Que sea sencilla, a pequeña escala y de bajo costo.

Que satisfaga necesidades verdaderas de la ma-

yor parte de la población;

—Que sus insumos sean principalmente recursos renovables;

—Que produzca el mínimo posible daño ambiental.

d) **Desarrollo de niveles básicos.** Las necesidades básicas de todo ser humano incluyen necesidades de alimentación, de servicios de salud, de educación, de vivienda y de vestido. Este concepto se refiere a una reorientación o redefinición del concepto de desarrollo en el cual, en vez de tratar de maximizar el crecimiento económico o el desarrollo industrial medido con el PNB per cápita, se debe tratar de fomentar la disponibilidad de productos y servicios de buena calidad, accesibles a toda la población para satisfacer sus necesidades básicas. Estos serían los niveles básicos para un desarrollo nacional sano y humano. O sea, que es un concepto de desarrollo más humano que el concepto "económico", ya que lo que se considera como desarrollo es el proveer las bases materiales necesarias para una vida digna al mayor número posible de individuos.

Un factor muy importante para el desarrollo de niveles básicos es el desarrollo del sector agropecuario, basándose en prácticas ecológicamente sanas. Para esto es necesario lograr una demanda estable de alimentos y lograr un desarrollo balanceado de los sectores de producción, distribución, almacenamiento y mercadeo. Debe buscarse asimismo la producción de implementos y maquinaria agrícolas así como de fertilizantes. Es de notar que un reciente estudio preliminar para condiciones de El Salvador indica que una fábrica de fertilizantes es necesaria y sería económicamente viable (Oliva, 1981). Es evidente la necesidad de desarrollo de este sector; a pesar de la naturaleza básicamente agrícola de la economía salvadoreña, se puede estimar que el 90% de todos los salvadoreños sufren de alguna forma de desnutrición (USAID, 1977).

Conclusiones

La presente es una época de enormes problemas, pero también de grandes oportunidades, abiertas por el desarrollo científico y tecnológico. El no hacer uso adecuado de esas oportunidades puede llevar a catástrofes ecológicas tanto a nivel global como a nivel local. Es necesario que en El Salvador y en Centro América se logre un nivel de desarrollo intelectual adecuado para lograr un esquema de desarrollo propio, evitando las posibles catástrofes a nivel local e influyendo en lo posible para lograr el desarrollo de una sociedad global sana.

Las ideas contenidas en el presente trabajo se pueden considerar como poco prácticas debido a razones políticas, sociales y económicas. Sin embargo, debido a razones físicas y ecológicas, sería menos práctico aún el no tomarlas en cuenta.

Las leyes de la termodinámica constituyen principios fundamentales para el ordenamiento de las relaciones ecológicas y económicas.

Existe similitud termodinámica entre la máquina térmica, un organismo vivo, y el proceso económico. Todos consumen recursos de baja entropía valiosos y eliminan desechos de alta entropía.

Si se considera la ecología como la aplicación de todas las ciencias para la supervivencia del ser humano, ésta es la más importante de todas las ciencias, y es derecho y obligación de todo ser humano el conocer sus principios básicos.

Los recursos de baja entropía utilizables son básicamente de dos clases; una, el flujo de

energía solar, de duración prácticamente no limitada, y otra las reservas de materiales y energéticos dentro de la tierra, finitas. Para utilizar el flujo de energía solar significativamente en el proceso económico, es necesario utilizar parte de los recursos limitados, con lo que la totalidad de los recursos es efectivamente limitada.

La esencia del problema general ecológico-económico consiste en la contradicción existente entre la idea de la necesidad del crecimiento no limitado del proceso económico y de la población, y la realidad de un mundo con recursos físicos limitados, materiales, de energía y de espacio.

Los problemas del crecimiento rápido de la población, de la falta de humanismo y de la pseudoinformación, dificultan la solución de los problemas ecológicos y económicos.

El desarrollo de niveles básicos, la tecnología apropiada, el humanismo, el conocimiento en general, y en particular el conocimiento sobre ecología, pueden ayudar a la solución del problema ecológico-económico.

Los esquemas económicos tradicionales no incluyen entre sus fundamentos la segunda ley de la termodinámica.

El apegarse a los esquemas económicos que consideran conveniente el generar una aceleración continua del proceso económico implica una cada vez más rápida producción de contaminación, lo cual no es conveniente a la especie humana, ni a los demás seres vivos.

El aumento en el Producto Nacional Bruto o en el PNB per-cápita no es un índice adecuado, suficiente y representativo para el desarrollo de una nación.

A nivel global, los recursos naturales son limitados y, por lo tanto, el tratar de buscar el desarrollo económico de los países en vías de desarrollo siguiendo el modelo de los países desarrollados es muy probable que no lleve a los resultados deseados.

La creciente disparidad de bienestar material entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo es uno de los mayores problemas del mundo actual.

Ante la problemática de recursos, del rápido aumento de la población y otras, no puede preverse que el mundo futuro sea de abundancia de bienes materiales.

El desarrollo adecuado del sector agropecuario es vital para el bienestar de la población de El Salvador.

BIBLIOGRAFIA

- Albus, J.S. "The Economics of the Robot Revolution", *Analog*, Abril, 1975
- Boulding, K.E. "The Economics of the Coming SpaceShip Earth" en, Jarret H. (Ed). *Environmental Quality in a Growing Economy*, Baltimore Johns Hopkins Press, 1966 (Citado por Ehrlich, 1977).
- Christman, R.F. et al, *The Natural Environment: Wastes and Control*. California: Goodyear Pub. Co., 1973.
- Ehrlich, P.R. Ehrlich, A.H. y Holdren, J.P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*, San Francisco: W.H. Freeman, 1977.
- Friedman, M. "The Social Responsibility of Business in to Increase Its Profits, "New York Times Magazine", (Sept. 13, 1970). (Citado por Ehrlich, 1977).
- Friedman, M., y Friedman R., *Free to Choose*, New York: Harcourt Brace Jovanovich Inc., 1980.
- Fromm, E., *El Arte de Amar*, Buenos Aires: Ed. Paidós, 1974, (Ed. original, 1956).
- Sahakian, W.S. y Sahakian, M.L. *Ideas of the Great Philosophers*, New York: Barnes & Noble, 1966.
- Samuelson, P.A. *Economics* New York: McGraw-Hill, 7ed. 1967; 10ed., 1976.
- Sandler, S.I. *Chemical and Engineering Thermodynamics*, New York: John Wiley, 1977.
- Shumacher, E.F. *Small Is Beautiful, Economics as if People Mattered*, New York: Harper & Row, 1973; trad. *Lo Pequeño es Hermoso*, H. Blume eds. Madrid, 1978.
- Sewell, G.H. *Environmental Quality Management*, New Jersey: Prentice-Hall, 1975.
- Smith, A. *The Wealth of Nations*, Inglaterra: Penguin Books, Harmondsworth, 1974 (Ed. original: 1776).
- Smith, J.M. y Van Ness. H.C. *Introducción to Chemical Engineering Thermodynamics*. 3a. Ed. New York: McGraw-Hill, 1975.
- Stuum, W. "The CO₂ Question". Conferencia dictada en University of Washington, Seattle, noviembre 18 de 1977.
- Teilhard de Chardin. P. *The Phenomenon of Man*, New York: Harper & Row. 1959 (Ed. original: 1955).
- Tinbergen, J. (Coord.) *Reshaping the International Order: A Report to the Club of Rome*. New York: New American Library, 1976.
- Tobin, J. y Nordhaus, W. "Is Growth Obsolete?" 50 th Anniversary Colloquium, National Bureau of Economic Research. New York: Columbia University, 1972 (Citado por Ehrlich, 1977).
- Turk, J. et al *Ecosystems, Energy, Population*, Philadelphia: W.B. Saunders, 1975.
- USAID (U.S. Agency for International Development). *Nutrition Assesment Report for El Salvador*, Washington: Contract AID/TA-C-1383, Office o Nutrition, 1977.
- Verstraete, W. "Microbial Degradation of Biotic and Xenobiotic Compounds" Conferencia dictada en Rijksuniversiteit te Gent, Gante, Bélgica, 28 de agosto de 1981.
- Woodwell, G.M. "The Energy Cycle of the Biosphere" *Scientific American*, (septiembre de 1970).
- Galbraith, J.K. *Economics and the Public Purpose*, Boston: Houghton Mifflin, 1973 (Citado por Ehrlich, 1977).
- Galbraith, J.K., y Salinger, N *Introducción a la Economía. Una guía para todos (o casi)*. Barcelona; Ed. Crítica, 1979.
- Georgescu-Roegen, N. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge Harvard University Press, Cambridge, 1971.
- Harris, T.A. *Yo Estoy Bien, Tú Estás Bien*. Barcelona: Ed. Grijalbo, 1973.
- Hoyle, F., *Ten Faces of the Universe*, San Francisco: W.H. Freeman, 1977.
- Hutchinson, G.E. "The Biosphere", *Scientific, American*, (septiembre 1970).
- James, M.; Jongeward, D. *Nacidos Para Triunfar, Análisis Transaccional con Experimentos Gestalt*, México: Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1976.
- Lepkowski, W. "Researchers, policy makers relate entropy concepts to economics" *Chemical & Engineering News*, (Noviembre 14, 1977).
- Lepkowski, W. "The Social Thermodynamics of Ilya Prigogine" *Chemical & Engineering News*, (abril 16, 1979).
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. Randers, J. y Behrens, W.W. *Los Límites del Crecimiento*, México: Fondo de Cultura Económica, 1972.
- Mesarovic M., y Pestel E. *La Humanidad en la Encrucijada*, México: fondo de Cultura Económica, 1975.
- Odum, E.P. *Ecología*, 3a. Ed. México: Ed. Interamericana, 1972.
- Oliva-Aguilar, R.U. "Tecnología Apropiada", Charla presentada al personal de DIDECO, San Salvador, diciembre de 1980.
- Oliva-Aguilar, R.U. Profesor de diseño de Plantas Químicas, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador: Comunicación personal, junio de 1981.
- Oort A.H. "The Energy Cycle of the Earth" *Scientific, American*, (septiembre de 1970).
- Prigogine I. e Nicolis G., *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems.*, New York: John Wiley, 1977 (Citado por Lepkowski, 1979).
- Penman, H.L. "The Water Cycle" *Scientific American*, (septiembre de 1970).