

# Termodinámica, ecología y proceso económico \*

William Antonio Boyle Lemus \*\*

## 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 explican la primera y la segunda leyes de la Termodinámica, en especial la segunda, la ley de la Entropía, que 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, y se analiza cómo las leyes de la Termodinámica funcionan como base 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 la ley de la Entropía, por lo que se puede inferir que su aplicación continua es una de las principales causas del complejo problema ecológico–económico que vivimos. Se discuten algunas causas de esta omisión, algunos de sus factores agravantes, así como posibles respuestas a esta situación. Se incluyen conclusiones y recomendaciones.*

## INTRODUCCIÓN

No se puede dudar que la época actual no tiene precedente en la historia del hombre: el desarrollo intelectual ha impulsado un acelerado ritmo de avances tecnológicos que a su vez han permitido desarrollar productos, procesos y sistemas que han abierto posibilidades de bienestar material, los que resultarían completamente increíbles para los seres humanos de épocas anteriores.

Uno de los mayores problemas económicos en la actualidad es la disparidad en ingresos que existe entre los países desarrollados (PD) y los países en vías de desarrollo (PVD). Los PD tienen únicamente el 30% de la población global, pero perciben el 85% del ingreso global, en cambio los PVD tienen el 70% de la población y únicamente reciben el 15% del ingreso global, (incluyendo en los PD a los países exportadores de petróleo; (4) o sea, que las posibilidades de bienestar material están sumamente concentradas en los PD. Esta disparidad está en aumento porque la población de los PD crece lentamente, mientras que la de los PVD aumenta rápidamente; en tanto que el ingreso de los PD está aumentando mucho más

rápidamente que el ingreso de los PVD.

Este ingreso global refleja tanto la producción industrial de estos países como el consumo de recursos y por eso se habla de "desarrollo" económico.

El bienestar material requiere pues, recursos físicos (energía, agua, materiales y tierra), y la aplicación de herramientas culturales como la tecnología y la organización social. A primera vista pareciera pues, que la solución del problema sería acelerar el desarrollo industrial y económico de los PVD. Pero, si se analiza con más detenimiento esta posible "solución", se puede observar que puede acarrear serios problemas ecológicos a los PVD, puesto que el incremento en la producción industrial trae como consecuencia una mayor contaminación ambiental. Todo proceso industrial causa un impacto ecológico, y esto es una afirmación derivada de la Segunda Ley de la Termodinámica (10, 4). Los procesos industriales modernos producen e introducen 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 dife-

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

\*\* Coordinador de la Sección de Ingeniería Química. Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". Asociación Salvadoreña de Ingenieros Químicos y Químicos Industriales.

rencia del mundo antiguo en que el efecto de las actividades del hombre era siempre despreciable en relación con 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 determinados productos existen dos grupos de empresas, unas que utilizan medidas tendientes a proteger el ambiente y otras que no las utilizan en igualdad de las otras condiciones, es evidente que las empresas que no las utilizan tienen costos de producción inferiores, con lo que tienen cierta ventaja competitiva, puesto que la utilización de equipos, materiales y métodos para recuperar y detoxificar productos dañinos que se encuentren en los efluentes representa un costo.

Este factor se ve complicado por el pensamiento económico tradicional, que señala como meta de toda empresa o individuo el maximizar sus ganancias monetarias (5, 6, 30) o sea que, de acuerdo con ésto, las empresas tratarán, en lo posible, de evadir la aplicación de medidas de 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 aspecto de la psicología humana: es más fácil y deseable resolver un problema sencillo que un problema complicado. Para un dirigente de empresa, eso significa que es más fácil y deseable resolver el problema del manejo y subsistencia de su empresa solamente, y no tener que resolver también el problema de la con-

taminación ambiental y de la absorción de los costos que esto implique. Claro que, aunque no se tenga protección ambiental, los costos existen, principalmente en la forma de disminuciones de la calidad de la vida; pero a estos últimos 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 ser extraídos y utilizados.

Se debe notar que la prosperidad de los PD se ha basado sobre 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. Por eso, tratar de buscar el desarrollo económico de los PVD imitando 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.

Es importante no caer en la "falacia del Japón"; esta consiste en creer que solo es necesario industrializar para llegar a tener la prosperidad del Japón, ya que este es un país que ha logrado un espectacular desarrollo económico a pesar de poseer escasos recursos naturales. El Japón importa recursos naturales, minera-

les 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 que 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 Japonés 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 (10).

Es más, si se considera como **sobredesarrollado** 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 **dedesarrollo** de los PD, ésto 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 llegar 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 debe ser comunicada, comprendida y debe llevar a la acción.

## 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 (31). Estas son principios básicos de la naturaleza a los que, 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,  $E=mc^2$ , 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 de un cuerpo caliente a uno 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 constante aumento*”. Esto significa que la energía tiende a degradarse, a convertirse en calor no utilizable aún cuando no se aproveche 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 (27). Por ejemplo, un vaso de cerveza helada en un cuarto caluroso, no está 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 solo 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 se da a costa de energía libre (10). Estos conceptos son también aplicables a la materia. Según los enunciados de la Termodinámica estadística, la materia organizada, utilizable, es de baja entropía y 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 corroa, 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 que necesita una fuente de calor a alta temperatura, o sea energía de baja entropía, y un resumidero para el calor a baja temperatura desecharlo, o sea energía de alta entropía. La primera ley, nos dice que el calor de baja entropía consumido por la máquina es igual al trabajo realizado más el calor de alta entropía desecharlo. 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) y la segunda ley indica las direcciones en el tiempo (pasado y 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.

Las leyes de la Termodinámica funcionan como base para el ordenamiento de la ecología en todos sus niveles.

## LA ECOLOGIA

La Ecología también se originó en el siglo pasado, pero el reconocimiento general de su importancia data desde hace unos 20 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 que en ella converge "la aplicación práctica de todas las ciencias para la supervivencia del ser humano". Por su etimología, la palabra **ecología** se refiere al estudio del ambiente o lugar donde se habita, y se puede definir como "*el estudio de las interrelaciones de los organismos vivos con su medio 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, 1870, describió la Ecología como "*el conocimiento sobre la economía de la naturaleza*".(29)

Un concepto muy importante en Ecología es el de **ecosistema**, o sistema ecológico. Este es "*un sistema compuesto por determinado medio físicoquímico y los seres vivos que lo habitan*". En estos sistemas existen pues, componentes vivos, y además componentes físicos, no vivos. Los ecosistemas son sistemas naturales en los que las relaciones de intercambio de materia son principalmente con componentes del mismo sistema (36), y los puede haber muy pequeños, como un frasco de laboratorio con especímenes, o muy grandes, como el ecosistema general de la tierra, la biosfera (13). Un bosque, un arroyo, un lago, o un ser humano son ejemplos de ecosistemas.

Un organismo o ser vivo se puede considerar como un sistema de materia altamente organizado, 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 períodos, como si lograran detener los efectos de la segunda ley.

Esto es solo aparente, pues para mantener ese estado organizado alejado del equilibrio, todo ser vivo necesita, en forma más o menos constante, realizar un consumo de energía y materia de baja entropía (alimentos), así como también excretar los desechos (materia y energía de alta entropía). Si se le impide a un organismo vivo 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.

Entonces, 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, y 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 energía de baja entropía. Estos sistemas o “*estructuras disipativas*” han sido estudiadas por Prigogine (23) 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.

Esto lleva a un concepto muy importante en Ecología, el de estructura *trófica*. Esta palabra viene del griego “*trofe*”, alimento, lo que es equivalente a decir energía. La fuente básica de energía de la Tierra es el Sol, el que 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 que llega a la Tierra a una temperatura efectiva de unos  $6000^{\circ}\text{K}$ . La Tierra a su vez re-emite esta energía como energía radiante de

alta entropía a una temperatura de  $225^{\circ}\text{K}$  (22). Esta energía es la que impulsa los fenómenos meteorológicos (evaporación del agua, lluvias y vientos) de los que 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 realizar fotosíntesis (plantas) aunque con una eficiencia bastante baja (de alrededor del 0.1% (39)). Estos organismos fotosintéticos constituyen el primer nivel trófico de un ecosistema, ya que son 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. Esto sería un ejemplo sencillo de cadena alimentaria o sea de cómo va pasando la energía solar de unos organismos a otros, de cómo fluye esta energía a través de la biosfera. En general estas cadenas tienden a ser mucho más complejas, especialmente en el mar, en donde se pueden más bien llamar redes alimentarias (19).

Es importante notar que al alimentarse un organismo de otro, o sea al pasar 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 la energía se disipa en forma de calor al ambiente y luego al espacio. La energía solar de baja entropía que recibe la tierra, solo puede ser utilizada una vez por el ecosistema, pero afortunadamente este suministro se puede considerar como limitado.

Además de este flujo de energía solar a través del ecosistema, existen flujos constantes de materiales que entran y salen. Pero, dentro del ecosistema, los materiales pueden ser ciclados muchas veces, casi indefinidamente, pues 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 ciclo de elementos químicos se les llama **ciclos ecológicos biogequímicoss**. Los mecanismos específicos de estos ciclos pueden ser muy complejos y existen ciclos ecológicos para todos los elementos químicos biológicamente importantes como oxígeno, carbono, agua, nitrógeno, fósforo, azufre y muchos otros más.

Como ejemplo de ciclo ecológico vamos a considerar parte del ciclo del carbono: en este 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. Es-

tos carbohidratos de las plantas pueden ser comidos por animales y luego, dentro de los tejidos de los animales a su vez pueden ser oxidados por medio de la respiración para dar la energía que se necesita para el metabolismo animal, y como resultado, el dióxido de carbono es liberado de nuevo 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. Una prueba de la interferencia del ser humano en estos ciclos es que la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera ha estado aumentando 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 para los equilibrios de acidez de los cuerpos de agua naturales (lagos, ríos y mares) (32).

El ciclo completo del carbono es más complejo pues incluye otros aspectos no descritos como 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 esta parte de este ciclo es también parte de los ciclos del oxígeno y del agua. Todos los ciclos ecológicos están

complejamente entrelazados y por tanto una alteración de uno tiene efecto sobre los otros.

Los microorganismos que están presentes en todas partes de la biosfera, juegan un papel muy importante en todos estos ciclos, pues por ellos, algunas de las substancias desechadas por los seres vivos son recicladas en formas utilizables. Todos estos procesos de reciclaje, por supuesto, requieren consumo adicional de energía de baja entropía.

Se puede ver pues, que los ecosistemas enteros son semejantes a los seres vivos, ya que son estructuras complejas, de baja entropía que, para mantener este estado alejado del equilibrio, requieren, 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 biosfera, sus cadenas y redes alimentarias, y sus ciclos biogeoquímicos, son estructuras sumamente delicadas que han tardado millones de años en formarse. El ser humano, recientemente, ha comenzado a tener una idea de

las enormes dimensiones de tiempo y espacio que tiene el universo que lo rodea, (33). Puede ser instructivo mencionar algunas de las edades aceptadas para eventos importantes en la cronología de la biosfera (3):

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 ésto, los efectos de las actividades del ser humano era un factor completamente despreciable. Pero es desde hace unos 200 años, con la revolución industrial, que el impacto se ha hecho realmente notorio, principalmente en la forma de flujos de materiales y desechos, tanto sólidos como líquidos y gaseosos que entran en los ciclos naturales en cantidades muy grandes. En años recientes la aceleración de estos flujos continúa al ir aumentando el desarrollo industrial.

Si se introducen sustancias tóxicas dentro de un organismo, dependiendo de la cantidad o calidad introducida, se puede dañar la salud o causarle la muerte a

CRONOLOGIA DE LA BIOSFERA	
EVENTO	PERIODO
Formación de la tierra	Hace cuatro mil quinientos millones de años
Aparición de los microorganismos	Hace tres mil millones de años
Aparición de microorganismos con núcleo	Hace mil quinientos millones de años
Aparición de organismos multicelulares	Hace seiscientos millones de años
Aparición de los peces	Hace cuatrocientos millones de años
Aparición de los dinosaurios	Hace trescientos millones de años
Aparición de los mamíferos	Hace cien millones de años

dicho organismo. Lo mismo ocurre con los ecosistemas: los desechos pueden sobrecargar los mecanismos naturales de autodepuración por las cantidades o por la toxicidad de las sustancias involucradas. Por ejemplo, la introducción de una gran cantidad de fertilizantes contenido nitrógeno o de detergentes contenido fósforo pueden contaminar un río o un lago y volver imposible la pesca o la recreación. Igualmente la introducción de efluentes industriales que contengan sustancias tóxicas, como pesticidas o sustancias carcinogénicas o radioactivas, pueden dañar ecosistemas enteros o producir grandes problemas de menoscabo de la salud humana, ya que no existen sistemas naturales para detoxificar muchas de estas sustancias (38). Además, es obvio que ningún organismo puede sobrevivir en un medio ambiente saturado de sus productos de desecho, esta 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 que esto tiene una importancia secundaria con respecto al desarrollo económico.

## EL PROCESO ECONOMICO

De acuerdo con 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 N° 1. En

esta se puede observar un flujo circular de dinero entre el sector de empresas y el sector público y, 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 (10).

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". Este 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 (6, 26, 35).

Específicamente la respuesta de los economistas a los problemas ambientales es que debe de haber 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 estén de acuerdo con el crecimiento perpetuo del proceso económico.

¿Y por qué no? Desde este punto de vista, no existe ningún daño en eso: el dinero no se destruye en ningún sentido real, solo hay que reciclarlo cada vez más rápido. Pero, para una persona con conocimientos de Termodinámica y en especial, en vista de lo discutido anteriormente, esta visión es sospechosa porque se parece mucho a una "máquina de movimiento perpetuo de segunda clase", cuya existencia se ha demostrado que es imposible 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 N°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 utilizables, o sea, contamina. Lo que mueve los ciclos del proceso económico es un flujo de materia y energía que aumenta la entropía, tal y como ocurre con cualquier organismo vivo.

Con ésto se puede observar que el concepto tradicional de desarrollo económico equivalente a aumentar el PNB, o sea el aumento de la velocidad del ci-

clado de dinero en el proceso económico, solo se puede lograr acelerando el aumento de la entropía total del sistema o sea aumentando el consumo de recursos y la producción de desechos.

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 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 contenidos dentro de la tierra, las que, 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, por una parte, agotar más rápidamente los recursos no renovables y condenar a las generaciones futuras a una vida de pobreza, y por otro lado significa producir más contaminación y por consiguiente disminuir la calidad de vida en el presente.

La continua inflación actual posiblemente se deba, en parte, al agotamiento de las reservas de más baja entropía: los yacimientos de minerales y energéticos más accesibles y concentrados.

Las razones por las que los postulados básicos de la Termodinámica no se han incluido en el esquema económico tradicional, en especial la segunda ley, pueden ser, por una parte, un apego a un esquema mecanicista del proceso económico sostenido por los economistas más influyentes, por otra parte, la visión simplista del hombre de negocios y, por último, el simple hecho de que el desarrollo de las bases de la termodinámica, y en especial de 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 cuya aceptación todavía no se ha generalizado, aunque ya existen muchos economistas como Galbraith (1979) que afirman que el PNB no 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 opción 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 procesos productivos.

## 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 (materiales, energéticos y de espacio) limitados. 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 dificultad mayor para la aplicación de soluciones. La ignorancia, en cualquier actividad humana, causa problemas; pero en la actualidad tiene importancia 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.

Con base en 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 se puede decir que "no piensan" más allá del marco de su vida diaria, y que su pobreza en cantidad y calidad de conocimientos limita mucho sus posibilida-

des 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 pequeño, 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 propio inmediato sienten la necesidad de pensar en el beneficio a mediano y largo plazo, tanto propio como de sus seres queridos, lo que 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 implica el adquirirlo; uno de la segunda valora el conoci-

miento 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 porque le permite tener un acercamiento hacia los demás, por la visión que le da sobre el significado de su vida y la de otros, por la capacidad que le dá 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 (7).

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, simplemente porque el problema que debe resolver es más sencillo; tiene menos factores que tomar en cuenta. Indudablemente 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.

Y en parte, a eso se debe el fenómeno de la **trampa cósmica** a la que se enfrenta la humanidad en el 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 próxi-

mo de la especie humana, o al menos de la actual civilización tecnológica, se vuelve muy probable.

b) **Población:** el consumo de recursos de una nación se puede considerar como el producto de dos factores: el consumo de recursos promedio por habitante, 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 el tamaño de 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 momento la población es muy numerosa, el consumo por habitantes será muy 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 fuera la población para ese tiempo, mayor podría ser el consumo por habitante, lo que equivale a un nivel más alto de bienestar material.

Esto a su vez implica 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 que podría significar un nivel de vida razonablemente agradable, si la población fuera lo suficientemente pequeña. (1)

La anterior discusión se refiere a una situación hipotética en que el consumo fuera equitativo. En la realidad de la mayoría de nuestros países al presente, el mayor aumento poblacional ocurre en las clases más pobres e ignorantes, con un consumo muy reducido de recursos por individuos. 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, un gran aumento en el consumo total de recursos.

c) **Falta de humanismo:** o 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 tiem-

pos presentes, y se refiere a la cantidad 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, "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 este concepto es ¿Qué ocurre si la tecnología no logra producir esa energía barata ilimitada?, y 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, por la segunda ley se sabe que cualquier uso de energía necesariamente genera calor; entonces si existe un uso ilimitado de energía, ésto 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 sistemas 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, sobrevenirán catástrofes ecológicas en un período relativamente corto (de unos 50 a 100 años). El efecto de estas catástrofes sería una disminución brusca del tamaño de la población humana de la tierra. (17, 18)

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 industrial, 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 puedan ser explotados por tecnologías sencillas. (12)

## 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 el principal aporte a su solución es lograr difundir más conocimiento, más realista y a más gente. 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 tendrán que trabajar 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 que 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 éste, como el "creer que todo ser humano debería de

tener derecho a una vida digna y ennoblecadora" y es una creencia que puede lograrse si el individuo tiene acceso a una elevada calidad y cantidad de conocimientos. Esta creencia puede surgir a partir de bases intelectuales, religiosas o bien estéticas.

Puede surgir de bases intelectuales, si el individuo se da cuenta de que no se puede vivir una vida agradable y tranquila, deseable, en una comunidad en que existan gran número de individuos que no tienen la posibilidad de un desarrollo intelectual y material sano, o sea que no se puede vivir bien en una comunidad en que 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 de tratarse como tales.

Puede surgir también de bases estéticas, 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 dentro del mayor número posible de individuos. Esta cualidad en realidad es un ingrediente necesario para cualquier solución permanente, y es a par-

tir de personas con esta orientación que 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.(11, 14).

- c) **Tecnología apropiada:** reorientación de la tecnología tanto en los PD como en los PVD para lograr una participación 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 (28).

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 a la ecología.

Entre las características deseables de una tecnología apropiada están (20):

- que sea sencillo, en pequeña escala y de bajo costo;
  - que satisfaga necesidades verdaderas de la mayor parte de la población;
  - que sus insumos sean principalmente recursos renovables;
  - que produzca el mínimo posible de 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 que en vez de tratar de maximizar el crecimiento económico o del desarrollo industrial medido con el PNB per cápita, se debe de 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 lograr 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 ésto 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 (21). Es evidente la necesidad de desarrollo de este sector pues 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 (37).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente época tenemos enormes problemas pero también poseemos grandes oportunidades, abiertas por el desarrollo científico y tecnológico. El uso inadecuado de esas oportunidades puede llevar a catástrofes ecológicas tanto en ámbito legal como global. Es necesario que en El Salvador y en Centro América se logre un desarrollo intelectual adecuado para lograr un

esquema de desarrollo propio, evitando las posibles catástrofes locales 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 debidas a razones políticas, sociales y económicas. Sin embargo, debido a razones físicas y ecológicas, sería menos práctico aún no tomarlas en cuenta.

## CONCLUSIONES

1. Las leyes de la Termodinámica constituyen principios fundamentales para el ordenamiento de las relaciones ecológicas y económicas.
2. 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.
3. 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.
4. Los recursos de baja entropía utilizables son básicamente de dos clases: el flujo de energía solar, de duración prácticamente no limitada, y 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.

5. 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 (materiales, de energía y de espacio), limitados.
6. 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.
7. 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.
8. Los esquemas económicos tradicionales no incluyen entre sus fundamentos a la segunda ley de la Termodinámica.
9. El apegarse a los esquemas económicos que consideran conveniente el generar una aceleración continua del proceso económico implica una disminución cada vez más rápida de los recursos

naturales y una producción de contaminación también cada vez más rápida. Esto no es conveniente para la especie humana, ni para los demás seres vivos.

10. 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.
11. Si los recursos naturales son limitados, entonces tratar de buscar el desarrollo económico de los Países en Vías de Desarrollo siguiendo el modelo de los Países Desarrollados probablemente no lleve a los resultados deseados.
12. 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.
13. Ante los problemas de recursos, del rápido aumento de la población y otros, no puede preverse que el mundo futuro sea uno de abundancia de bienes materiales.
14. El desarrollo adecuado del sector agropecuario es vital para el bienestar de la población de El Salvador.
15. La ignorancia es la raíz básica de todos los problemas.

## RECOMENDACIONES

1. Dada la importancia vital de la Ecología y lo necesario que es conocer sus principios básicos para lograr un desarrollo nacional sano, se recomienda, la inclusión de al menos una asignatura obligatoria para todas las carreras universitarias. A esta asignatura se le podría llamar, por ejemplo, “Ecología general” y en ella se expondrían los principios básicos de esta ciencia.
2. Se recomienda que esta asignatura obligatoria incluya al menos los siguientes aspectos:
  - a) las bases físicas y biológicas de la Ecología;
  - b) la dinámica del crecimiento de la población humana y el problema de los recursos alimentarios;
  - c) el problema del desarrollo industrial y de la demanda de energéticos y materiales;
  - d) los efectos de la contaminación ambiental y del daño a los ecosistemas;
  - e) la trama ecológica–económica, sus componentes y sus posibles respuestas.
- En el desarrollo de estas asignaturas se recomienda que se comience por la situación en ámbito mundial para luego discutir la correspondiente situación nacional. Como texto de referencia base para estas asignaturas se recomienda **Ecoscience**, de Ehrlich, (1977) (4).
3. Se recomienda la inclusión de estos conceptos en la

- educación primaria y media, con el nivel didáctico adecuado, en asignaturas obligatorias para todos los estudiantes.
4. Dada la naturaleza limitada de la tierra y de los recursos naturales de baja entropía, es necesario planificar el crecimiento de la población y el crecimiento del proceso económico con vistas a estos límites.
  5. Se recomienda dar difusión adecuada a los conceptos básicos del problema ecológico–económico.
  6. Se recomienda apoyar, o en dado caso, crear programas que lleven al cese del aumento de la población, a la implementación del concepto de desarrollo de niveles básicos, al desarrollo de tecnologías apropiadas, al desarrollo del sector agrícola y al desarrollo y la difusión del humanismo.
  7. Se recomienda la enseñanza de los principios básicos del análisis transaccional psicológico, sobre todo en la educación primaria, ya que esto puede ayudar al desarrollo y difusión del humanismo.
  8. Se recomienda evitar caer en la “falacia del Japón” o sea el creer que todos los países pueden y deben tratar de imitar el desarrollo económico e industrial logrado por el Japón. Esto, en términos más amplios, significa evitar la adopción de modelos para el desarrollo económico e industrial de El Salvador Centro América o cualquier otro país, no adecuados a sus condiciones geográficas, agroindustriales y de disponibilidad de recursos naturales.
  9. Se recomienda buscar para El Salvador y Centro América esquemas propios de desarrollo de niveles básicos, el desarrollo de tecnologías apropiadas y que tenga como factor importante el desarrollo intelectual de la mayoría de la población.
  10. Se recomienda apoyar el esquema de buscar el desarrollo apropiado y con límites adecuados de los Países en Vías de Desarrollo y que tiene como requisito el “de–desarrollo”, o sea la disminución en el consumo de recursos naturales no-renewables, por parte de los Países Desarrollados.
  11. Se recomienda en especial la lectura de los trabajos de Georgescu (1971), Schumacher (1973), Galbraith (1979), Ehrlich (1977), Meadows (1972), Mesarovic (1975), Tinbergen (1976) y Harris, (1973).
- LITERATURA CITADA**
1. Albus, J.S., “The Economics of the Robot Revolution”. *Analog*. Abril, 1975.
  2. 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).
  3. Christman, R.F. et al. *The Natural Environment: Wastes and Control*. California: Goodyear, 1973.
  4. Ehrlich, P.R. Ehrlich, A.H. y Holdren, J.P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. California: W.H. Freeman, 1977.
  5. Friedman, M. “The Social Responsibility of Business in to Increase Its Profits”. *New York Times Magazine*, Sept.13, 1970. (Citado por Ehrlich, 1977).
  6. \_\_\_\_\_ y Friedman R., *Free to Choose*. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1980
  7. Fromm, E., *El arte de amar*. Buenos Aires: Paidós, 1974. (Ed. original, 1956).
  8. Galbraith, J.K. *Economics and the Public Purpose*. Boston: Houghton Mifflin, 1973. (Citado por Ehrlich, 1977).
  9. \_\_\_\_\_ y Salinger, N. *Introducción a la economía: una guía para todos (o casi)*. Barcelona: Ed. Crítica, 1979.
  10. Georgescu–Roegen, N. *The Entropy Law and the Economic Process*. Massachusetts: Harvard University Press, 1971.
  11. Harris, T.A. *Yo estoy bien, tú estás bien*. Barcelona: Ed. Grijalbo, 1973.
  12. Hoyle, F. *Ten Faces of the Universe*. California: W.H. Freeman, 1977.
  13. Hutchinson, G.E. “The Biosphere”. *Scientific, American*. Sept. (1970).
  14. James, M.; Jongeward, D. *Nacidos para triunfar, análisis*

- transaccional con experimentos gestalt.** México: Fondo Educativo Interamericano, 1976.
15. Lepkowski, W. "Researchers, policy makers relate entropy concepts to economics" **Chemical and Engineering News**, Nov. 14, 1977.
16. ———. "The Social Thermodynamics of Ilya Prigogine" **Chemical and Engineering News**, April 16, (1979).
17. Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J., Behrens, W.W. **Los límites del crecimiento.** México: Fondo de Cultura Económica, 1972.
18. Mesarovic M., y Pestel E. **La humanidad en la encrucijada.** México: Fondo de Cultura Económica, 1975.
19. Odum, E.P. **Ecología.** 3 ed. México: Ed. Interamericana, 1972.
20. Oliva-Aguilar, R.U. "Tecnología apropiada", Charla presentada al personal de DIDEKO, San Salvador, Dic. (1980).
21. ———, Profesor de Diseño de Plantas Químicas, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" San Salvador. Comunicación personal, Junio, 1981.
22. Oort, A.H. "The Energy Cycle of the Earth". **Scientific American**. Sept., 1970.
23. Prigogine, I. y Nicolis G. **Self-Organization in Non-Equilibrium Systems.** New York: John Wiley, 1977. (Citado por Lepkowski, 1979).
24. Penman, H.L. "The Water Cycle" **Scientific American**, Sept. 1970.
25. Sahakian, W.S. y Sahakian, M.L. **Ideas of the Great Philosophers.** New York: Barnes and Noble, 1966.
26. Samuelson, P.A. **Economics.** 7 ed. New York: McGraw-Hill, 1967.
27. Sandler, S.I. **Chemical and Engineering Thermodynamics.** New York: John Wiley, 1977.
28. Schumacher, E.F. **Small Is Beautiful, Economics as if People Mattered.** New York: Harper and Row, 1973. trad. **Lo pequeño es hermoso.** Madrid: H. Blume, 1978.
29. Sewell, G.H. **Environmental Quality Management.** New Jersey: Prentice-Hall, 1975.
30. Smith, A. **The Wealth of Nations.** Harmondsworth: Penguin Books, 1974. (Ed. original: 1776).
31. Smith, J.M. y Van Ness, H.C. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics.** 3ed. New York: McGraw-Hill, 1975.
32. Stumm, W. "The CO<sub>2</sub> Question", Conferencia dictada en University of Washington, Seattle. Nov. 18, 1977.
33. Teilhard de Chardin. P. **The Phenomenon of Man.** New York: Harper and Row, 1959, (Ed. original: 1955).
34. Tinbergen, J. (Coord.) **Reshaping the International Order: A Report to the Club of Rome.** New York: New American Library, 1976.
35. Tobin, J. y Nordhaus, W. "Is Growth Obsolete?" 50 th Anniversary Colloquium, National Bureau of Economic Research. Columbia University, N.Y. (1972). (Citado por Ehrlich, 1977).
36. Turk, J. et al **Ecosystems, Energy, Population.** Philadelphia: W.B. Saunders, 1975.
37. USAID, U.S. Agency for International Development. **Nutrition Assessment Report for El Salvador.** Contract AID/TAC-1383, Office of Nutrition, Washington D.C. 1977.
38. Verstraete, W. "Microbial Degradation of Biotic and Xenobiotic Compounds" Conferencia dictada en Rijksuniversiteit te Gent, Gante, Bélgica, 28 agosto, 1981.
39. Woodwell, G.M. "The Energy Cycle of the Biosphere". **Scientific American.** Sept., 1970.