

- **A través del macroscopio**

El átomo, la molécula, la célula, el organismo, la sociedad se encajan unos en otros como un juego de muñecas rusas. La mayor de estas muñecas tiene las dimensiones del planeta. Engloba a la sociedad de los hombres y a sus economías. A las ciudades y a las empresas que transforman el mundo. A los organismos vivos y a las células que los componen.

Podría continuarse así, abriendo otras muñecas, hasta llegar a las partículas elementales. Detengámonos aquí. La finalidad de esta exploración preliminar es doble. Se trata, en primer lugar, de comunicar un saber mínimo en la ecología, economía y biología, disciplinas que hoy nos fuerzan a modificar nuestros modos de pensar.

Se trata, después de introducir las nociones de sistema y de enfoque sistémico, bases de la nueva cultura: la del honesto hombre del siglo XXI. Abrir cada muñeca deja pasar los ejemplos y la práctica antes de que la teoría general.

- **La ecología**

Literalmente, el ecosistema es la casa de la vida, y la ecología es la ciencia que lo estudia. El vocablo fue creado en 1866 por el biólogo alemán Ernst Haeckel a partir del griego *oikos*, casa, y *logos*, ciencia. Estudia las relaciones existentes entre los seres vivos y el medio en que viven.

El ecosistema es bastante más que un simple medio en que se vive. De alguna manera, es un organismo vivo. Sus ciclos gigantes activan el conjunto del mundo mineral y del mundo vivo.

¿Por qué movimientos, por qué transformaciones, se manifiesta a nosotros esta vida del ecosistema? Primero, por la circulación atmosférica, los vientos, los movimientos de las nubes, las precipitaciones, todo aquello que podría verse observando la tierra desde un punto suficientemente alejado. Por la circulación de las aguas, de los arroyos y de los ríos que descienden hacia los mares, por las grandes corrientes de los océanos y los desplazamientos de los hielos. Por los movimientos de la tierra, sacudidas sísmicas, volcanes, erosión y sedimentación; y, a lo largo de un intervalo temporal adecuadamente dilatado, por la formación de cadenas de montañas. Después, por los ciclos de la vida en los que se fabrican, intercambian y circulan en una ronda perpetua los materiales de base de los seres vivos.

- ◆ **Una caída de energía**

Todos estos movimientos, estos desplazamientos, estas transformaciones, requieren energía. Cualesquiera que sean su naturaleza y su variedad toman esta energía de tres fuentes principales: las radiaciones solares, la energía interna del globo (de orden sísmico o térmico) y la gravedad. Es obvio que la energía de las radiaciones solares es, con mucho, la más importante de las tres. La energía solar hace, pues, girar a los ciclos del ecosistema.

Además, del trabajo que con ello se produce (los movimientos y transformaciones brevemente descritos), la tierra equilibra su balance energético y, por consiguiente, mantiene constante su temperatura a causa de la radiación del calor hacia el espacio. Se establece un equilibrio entre la energía recibida (empleada en los procesos geológicos y biológicos) y la energía degradada en calor irrecuperable *, irradiada hacia el espacio. Solamente una fracción ínfima de la inmensa cantidad de energía solar recibida cotidianamente por la tierra es utilizada por los seres vivos.

- ◆ **Una botella, agua, aire, rocas y vida**

El ecosistema se compone de cuatro dominios en estrecha interacción: el aire, el agua, la tierra y la vida, a los que se denomina respectivamente *atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera*.

El flujo de energía que atraviesa el ecosistema es irreversible e inagotable. Sin embargo, los elementos químicos que construyen todas las formas minerales u orgánicas que conocemos en la tierra existen en número finito. Tales elementos deben ser hallados en el seno mismo del ecosistema y reciclados posteriormente a su uso. Todo lo que vive está fabricado a partir de un juego de construcción de sólo seis elementos básicos: el carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O), el nitrógeno (N), el azufre (S) y el fósforo (P).

Para poner de manifiesto el carácter limitado del ecosistema se le puede imaginar en forma de una simple botella con agua, aire, rocas y una delgada capa de vida. Si esta botella contuviera algas muy simples unicelulares –pero capaces de realizar la fotosíntesis– los protozoos (animales microscópicos también unicelulares), podrían ponerse en marcha los ciclos biológicos. La quemada por los protozoos. Esta combustión produciría energía que les permitiría, entre otras cosas, desplazarse en busca de alimento. La combustión se efectúa en presencia del oxígeno desprendido por las algas. Y a partir de gas carbónico, residuo mineral de la combustión, las algas fabricarían la materia orgánica. Con ello se cerraría el ciclo, habiéndose reutilizado todos los elementos de la botella.

En el ecosistema terrestre, los elementos esenciales a la vida son sucesivamente utilizados y regenerados en el curso de grandes ciclos bien conocidos: los ciclos del nitrógeno, del azufre, del fósforo. Estos elementos circulan entre tres grandes depósitos donde son almacenados durante períodos más o menos largos. Hay el depósito de la atmósfera (y de la hidrosfera), el depósito de la biomasa (la masa de materia orgánica representada por el conjunto de los seres vivos) y el depósito de los sedimentos.

La eliminación de desechos y el reciclaje

Sí el papel de los vegetales – productores y de los animales – consumidores es, en general, bien conocido, el de los microorganismos descomponedores lo es bastante menos. Y, sin embargo, es gracias a su prodigiosa actividad como los desechos orgánicos se transforman en sustancias almacenadas en los sedimentos, al abrigo de la oxidación en forma de moléculas solubles, transportadas por el agua de torrentera, o de moléculas gaseosas liberadas en la atmósfera. Formas todas reutilizadas, a plazo más o menos largo, por el ecosistema.

Las moléculas orgánicas que componen los excrementos, la orina, los tejidos en descomposición y todos los despojos degradables son fraccionados por los descomponedores en trozos más pequeños y más simples. Este reciclaje de los materiales de vida se produce alternativamente en una fase orgánica y en una fase inorgánica: sedimentaria (reserva de sedimentos) o atmosférica (reserva de la atmósfera). Debido a esta alternancia y al acoplamiento de los ciclos atmosféricos, geológicos y biológicos, los grandes ciclos que mantienen el ecosistema se denominan ciclos *biogeoquímicos*.

La regulación y el mantenimiento de los equilibrios

Los ciclos biogeoquímicos son autorregulados: una variación demasiado brusca en una dirección es compensada sucesivamente por la modificación de otra variable, resultando en el efecto global de devolver el equilibrio al sistema.

Los elementos minerales y orgánicos que pasan de un grupo a otro actúan como activadores o como inhibidores sobre el funcionamiento de la máquina de producir o de consumir. Si uno de los ciclos se frena (a causa, por ejemplo, de la desaparición de un cierto número de agentes consumidores), las cantidades acopiadas crecen rápidamente. Dado que la velocidad de los flujos de materia y de energía que se desplazan en los ciclos es proporcional a las cantidades almacenadas, el sistema se auto equilibra eliminando más deprisa el exceso.

Si la población de un determinado tipo de consumidores crece demasiado deprisa, se desajusta el equilibrio y e alimento llega a faltar: muere cierta cantidad de individuos y esto restablece el nivel de población óptimo en relación con el medio en el que vive esa comunidad.

La memoria del ecosistema: sus grandes depósitos

Los tres grandes depósitos de la atmósfera, de la hidrosfera y de los sedimentos desempeñan también un papel regulador sobre el conjunto de ecosistema, limitando sus variaciones demasiado bruscas. Actúan por efecto cisterna y reducen las oscilaciones debidas a variaciones cíclicas. Así es como la importante concentración de los océanos en iones carbonatos permite mantener casi constante la concentración del gas carbónico en la atmósfera. Análogamente, la interacción de atmósfera y sedimentos permite regular la concentración de oxígeno en la atmósfera, concentración que se ha mantenido, de forma notable, en el 21 por 100 a lo largo de los últimos centenares de millones de años (estando constituido el resto de la atmósfera por un 78 por 100 de nitrógeno y gases raros). La fotosíntesis produce tantas moléculas de oxígeno como consume la respiración.

¿Cómo se ha podido el oxígeno acumularse en la atmósfera y mantenerse en el 21 por 100 de su composición? Sencillamente, porque una parte de la materia orgánica fabricada por la fotosíntesis es puesta en reserva, a abrigo de toda oxidación, en sedimentos profundos.

• La economía

La regla de gobierno en una casa

La palabra economía toma su significado de las mismas raíces que la palabra ecología. La economía (de *oikos*, casa, y *nomos*, regla) es, literalmente la regla de gobierno de una casa. Pero también es, por extensión el arte de gestionar bienes correctamente; y, en acepción restringida, de gestionar bienes evitando gastos inútiles, esto es, haciendo economías.

Se llega de esta forma a la definición célebre de I. Robbins: la economía es el estudio del comportamiento humano como relación entre fines y medios escasos que tienen uso mutuamente exclusivos. Este tipo de definición empobrece considerablemente tanto la función económica como el papel del hombre (productor y consumidor), motivado, según parece, por el solo deseo de satisfacer sus necesidades. Pero es una máquina que, de hecho, parece agarrotada, capaz sólo de funcionar a golpes, en un universo irreal del que se ha excluido a la naturaleza.

Para hacer resaltar la estrecha conexión entre el ecosistema y el sistema económico me gustaría antes trazar, apoyándome en una serie de esquemas, una breve historia de la economía tomada en su más amplia acepción, es decir, como el estudio de los mecanismos de producción, de intercambio y de consumo en una estructura social dada y de las interdependencias entre estos mecanismos y esta estructura.

La primera etapa se caracteriza por la conquista y el dominio del fuego. El hombre vive de forma nómada, desplazándose de continuo en busca de alimento y de abrigo. La segunda etapa se materializa por la domesticación de la energía solar gracias al dominio de la agricultura, y por la domesticación de los animales, fuentes importantes de energía. La tercera etapa ve la aparición de herramientas más perfeccionadas, la concentración del trabajo en las ciudades y la aparición de los gremios y talleres, que permiten el desarrollo a gran escala del artesanado.

La cuarta etapa es la de la era preindustrial. Las herramientas perfeccionadas del artesano, que permitían manufacturar objetos simples de funciones precisas, dejan sitio a máquinas accionadas por los elementos naturales, por la energía humana o animal, y conducentes a una aceleración de las cadencias de producción. El empleo a gran escala del dinero y las nuevas formas de intercambio resultantes revolucionan la economía: el dinero hace estallar, en el espacio y en el tiempo, el trabajo, el intercambio, el consumo y el ahorro.

La quinta y última etapa, la de la sociedad industrial moderna se caracteriza por la utilización masiva de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), el desmenuzamiento del trabajo en una multitud de tareas simples, aunque casi siempre desprovistas de valor creativo, y la producción masiva de desechos no reciclables por el ecosistema. Esta división del trabajo, necesaria de cara a la eficacia, implica el reagrupamiento de los trabajadores en células de producción: las empresas.

¿Qué es lo que hace girar la máquina económica?

Los modelos clásicos consideran la máquina económica como un sistema cerrado sobre sí mismo, cuando, en realidad, es un sistema abierto al entorno, sujeto a las leyes de la energética.

El esquema ilustra tal caída de energía. El flujo irreversible que atraviesa el sistema económico le entra por arriba y a la izquierda del bloque que figura la producción, circula en forma de bienes, servicios y trabajo y sale como calor irrecuperable y desechos no reciclados, es decir, como entropía.

Puede uno preguntarse en qué sentido los bienes y servicios constituyen un flujo de energía. De hecho, los bienes materiales, los productos son el resultado de transformaciones que hacen intervenir energía, información materias primas. Se los puede considerar como materia informada, materia que ha recibido una forma particular, que ha sido informada por causa de la actividad humana.

Esquema

Como dicen los economistas, de manera bien poética, el valor de un bien o de un servicio se establece en la convergencia de la escasez y del deseo. El precio será la expresión de este valor de cambio: un valorímetro de uso particularmente cómodo, puesto que constituye una información, ciertamente muy desnaturalizada, pero esencial en el funcionamiento y en la regulación de la máquina económica.

Los agentes económicos: centros de decisión

Los dos principales agentes económicos son los productores y los consumidores (que se llaman también las empresas y los hogares en los libros de economía). Estos diferentes agentes económicos actúan como centros de decisión, practican elecciones y ejercen poderes, traducibles en fuerzas capaces de controlar, canalizar y orientar los flujos de energía y de dinero circulantes en el sistema económico.

El hombre es, al mismo tiempo, productor (en la empresa) y consumidor (en un mercado). Recordemos que estas dos funciones eran materializadas por organismos muy diferentes en el ecosistema (las plantas verdes y los animales).

La función de producción de bienes y servicios está asegurada por las empresas. En el esquema se muestra la complementariedad de las funciones de producción y de consumo. Siguiendo las flechas, veamos que entra en el bloque producción y qué sale de él. A la entrada: un flujo de energía y materias primas (o de productos semiacabados), trabajo, capital, saber – hacer e ingresos procedentes del producto de las ventas. A la salida: un flujo de bienes y de servicios, salarios, innovaciones, reservas transferidas a los bancos para su almacenamiento, desechos y calor irrecuperable.

Los productores y los consumidores tienen la posibilidad de almacenar en dos grandes reservas, ya sea dinero (producto de un trabajo presente o pasado): es la creación de capital; ya sea conocimiento: es la creación de capital – saber. La regulación de los flujos de energía y de dinero se efectúa, en parte a nivel del mercado de empleo y a nivel del mercado de bienes y servicios.

Las dificultades de regulación de la economía

Para hacer comprender las sacudidas y la regulación de la máquina económica, ésta puede ilustrarse de un modo de funcionamiento basado en la aceleración o frenado de flujos monetario y energético, que se traducen por los bien conocidos síntomas de la inflación y de la recesión.

La recesión se caracteriza por el frenado del flujo de dinero relativamente al de energía (en el conjunto anterior el engranaje interno se frena y contribuye a disminuir el ritmo del engranaje externo). La inflación se caracteriza por una velocidad acrecida del flujo monetario en relación con el flujo de energía; por una fluidez elevada de los intercambios.

Un crecimiento de la demanda tiene por efecto aumentar los precios (los bienes se hacen más escasos). Los empresarios invierten y contratan personal para acrecentar la producción. Si la oferta de bienes y servicios resultante de este aumento de producción sobrepasa la demanda de los consumidores, bajan los precios conduciendo esto a los empresarios a disminuir su producción, etc.

Por desgracia, la regulación automática del mercado por los precios no puede funcionar realmente. En régimen liberal, el consumidor debería ser todopoderoso y capaz de ejercer un derecho de voto permanentemente representado por su libertad de comprar o no comprar un determinado producto, de boicotear o de favorecer uno u otro sector de la economía. De hecho, por razón de las inversiones públicas y privadas que preceden a la demanda y orientan la producción, por razón del poder de la publicidad y de los monopolios constituidos por las grandes compañías multinacionales o de la endeblez de las organizaciones de consumidores, ese derecho de voto no constituye una instancia real de regulación.

Les es especialmente difícil a los responsables de la política económica evitar las fluctuaciones cíclicas, el estancamiento o las oscilaciones. Una de las soluciones escogidas por los países desarrollados desde el término de la Segunda Guerra Mundial es la de la política de crecimiento continuo: se mantiene deliberadamente un estado de inflación con el fin de asegurar el pleno empleo, la rentabilidad de las inversiones, de hacer funcionar las fábricas y de aumentar el bienestar material de los individuos.

Desgraciadamente, todo tiene su precio: acelerar la máquina económica equivale a bombear más energía de un depósito que se vacía y a arrojar sobre el entorno aún más desechos y calor. La diferencia fundamental entre la máquina ecológica y la máquina económica resalta así en todo su rigor. El fundamento de lo ecológico es un flujo irreversible de energía solar en cantidad ilimitada y un reciclaje permanente de los materiales. El fundamento de lo económico: un flujo irreversible de energía fósil procedente de una fuente limitada, y el desplazamiento irreversible de materiales procedentes de un depósito de recursos no renovables.

* A esta energía degradada en calor irrecuperable se le llama entropía.

Energía

Materias Primas

Producción

Desechos Entropía

Mercado del

Trabajo

Consumo

Mercado de bienes y servicios

Desechos Entropía

Reservas Capital

Reserva de Saber