

## HACIA UNA TEORIA DEL NO EQUILIBRIO ECONOMICO

VICTOR A. BEKER \*/\*\*

### Introducción

Este trabajo tiene su origen en el interrogante acerca de si, desde el punto de vista metodológico, a la Economía podrían resultarle de alguna utilidad los recientes avances registrados en el campo de la Termodinámica.

A nadie escapa la influencia que los métodos de la Física ejercieron sobre la ciencia económica -y sobre las ciencias sociales en general<sup>1</sup>.

No debe extrañar este hecho: en cada época, las distintas disciplinas tienden a apropiarse de la metodología utilizada por aquella que acumula los mayores logros en dicho período.

Es así que "los éxitos de la física y sus consecuencias tecnológicas han sido tan grandes que muchas personas todavía mantienen que otras disciplinas son científicas en la medida en que siguen la pauta marcada por Newton"<sup>2</sup>.

\* Profesor Titular en las facultades de Ciencias Económicas de la UBA y de la Universidad de Belgrano.

\*\* El autor agradece los comentarios que a una versión preliminar formularan el Profesor Dr. Julio H. C. Olivera, el Dr. Guillermo Escudé y el Dr. Vicente Donoso de la Universidad de Salamanca, así como los vertidos por las licenciadas Elena O. de Guevara y Lidia Rosignuolo en la XXVI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política. Por supuesto, las opiniones vertidas y los errores subsistentes son responsabilidad exclusiva del autor.

(1) Algunas analogías físicas empleadas en el análisis de los fenómenos económicos son presentadas por Vázquez Presedo (1979).

En el caso del concepto de equilibrio, el Profesor Dr. Olivera me ha hecho notar que su trasplante al análisis económico lo fue por la vía indirecta de la Sociología. Fue John Stuart Mill quien lo introdujo, tomándolo de la obra de Augusto Comte.

(2) Woodcock y Davis (1986), pág. 17.

A 300 años de la presentación de los **Principia** ante la Royal Society de Londres, el pensamiento newtoniano aún impregna la mayoría de las actuales disciplinas científicas. Los éxitos alcanzados en el campo de la Física son suficiente explicación de tal fenómeno.

Equilibrio, estabilidad, orden, continuidad son conceptos claves en el análisis de los fenómenos tanto naturales como sociales. La idea que el comportamiento del todo puede analizarse a través del de sus partes componentes ocupa también un lugar destacado en la tradición científica.

Con el surgimiento, durante el siglo pasado, de la Termodinámica, apareció la primera brecha en el pensamiento científico clásico. En efecto, al marcar "una reacción frente al punto de vista de que todo aquello a lo que la ciencia debe prestar atención puede ser descubierto por una disección microscópica de objetos" <sup>3</sup>, pasó a constituirse en el primer intento de construir una ciencia de lo complejo <sup>4</sup>.

Efectivamente, la termodinámica tiene por objeto predecir las reacciones de un sistema ante modificaciones en las condiciones externas. Es decir, le interesa lo que ocurre con el sistema desde el punto de vista macroscópico -qué sucede con la energía y sus formas: calor y trabajo- haciendo caso omiso del comportamiento microscópico -el de las moléculas o partículas individuales.

Empero, hasta el presente siglo lo que se desarrolló fue sólo la termodinámica del equilibrio.

Recién en los últimos años, con la labor de la escuela de Bruselas y particularmente con la del Premio Nobel de Química Ilya Prigogine, surgió la termodinámica del no equilibrio. Con ella se hace presente un enfoque novedoso que se aparta significativamente de la tradición científica desarrollada a partir de la obra de Newton.

Inestabilidad, desorden, desequilibrio, asimetría e irreversibilidad son las cuestiones sobre las que se centra su atención. La evolución de sistemas complejos y el papel de las fluctuaciones aleatorias en la generación de nuevas estructuras son los objetos principales de su estudio.

La pregunta es si, del mismo modo que la física clásica realizó significativos aportes metodológicos al análisis económico, es posible usufructuar hoy los avances registrados recientemente en la termodinámica del no equilibrio.

(3) Eddington (1958), pág. 103.

(4) Prigogine y Stengers (1984), pág. 104.

Para ello procederemos a una revisión suscita de tales avances -que quienes estén al tanto de los mismos podrán obviar, pasando directamente a la Sección II para luego explorar -en la referida Sección II- en qué medida ellos pueden brindar un soporte metodológico a un programa de investigación -en el sentido de Lakatos- en teoría económica.

## I - Los tres niveles de la termodinámica

Como hemos señalado anteriormente, la termodinámica del equilibrio fue la respuesta inicial de la física a los problemas que plantea el análisis de sistemas complejos.

Su aporte más significativo consistió en la segunda ley de la termodinámica, la cual afirma que en todo proceso hay una transformación de energía **útil** en **inútil**. Más específicamente, designando con  $S$  a la entropía -que mide la pérdida de capacidad de realizar trabajo por parte de un sistema- se tiene que

$$dS = dS_e + dS_i$$

donde  $S_e$  es el intercambio de entropía entre la máquina térmica y el medio mientras que  $S_i$  se refiere a la producción de entropía dentro del sistema.

Por tanto:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_e}{dt} + \frac{dS_i}{dt}$$

Ahora bien, mientras  $dS_e$  puede tomar valores positivos o negativos -según que el sistema reciba o transfiera entropía al exterior-,  $dS_i$  es siempre no negativo, representando los procesos irreversibles -pérdidas de calor, fricción, etc.- que hacen crecer la entropía dentro del sistema.

Por tanto, para un sistema aislado -es decir, sin intercambio de materia ni energía con el exterior- la entropía sólo varía en sentido positivo.

¿Qué sistema más aislado que el Universo?

De aquí que se interprete que la segunda ley de la termodinámica expresaría que la entropía del universo siempre aumenta, es decir que el universo pierde continuamente capacidad de hacer trabajo.

Para un sistema en aislamiento, el equilibrio termodinámico corresponde al estado de máxima entropía.

Del mismo modo, en un sistema cerrado -que no intercambia materia pero sí energía con el medio- el equilibrio corresponde al mínimo de energía libre (F) definida por la relación

$$F = E - TS$$

donde E es la energía total del sistema y T la temperatura, medida en la escala de Kelvin. Es decir, el equilibrio resulta de una competencia entre la energía y la entropía. A mayor temperatura, mayor es el peso de la entropía y menor la energía libre disponible.

Dado que su intercambio de materia con el medio exterior puede considerarse despreciable, la Tierra es típicamente un sistema cerrado.

El máximo de la entropía -en un sistema aislado- y el mínimo de la energía libre -en un sistema cerrado- son los estados de equilibrio hacia los que tiende su evolución espontánea. Actúan como "atractores" <sup>5</sup>, en el sentido que son los estados que cada sistema "prefiere" y hacia los que resulta atraído.

Cabe distinguir tres niveles en el análisis termodinámico.

El primero corresponde al equilibrio. Cuando el sistema alcanza el equilibrio cesa la producción de entropía.

Un segundo nivel es el de la región cercana al equilibrio. Allí los flujos son funciones lineales de las fuerzas que los causan. De aquí que se lo denomina también termodinámica lineal.

En la región lineal el sistema tiende a alcanzar un estado estacionario en el cual la producción de entropía sea mínima. Es decir, si las condiciones límites no le permiten al sistema alcanzar el equilibrio, éste es sustituido por un segundo mejor: el estado que corresponde la mínima producción de entropía. Desde este punto de vista, el estado de equilibrio puede considerarse como un caso especial que se presenta cuando las condiciones límites permiten alcanzar una producción de entropía nula.

Finalmente, tenemos la termodinámica de la región alejada del equilibrio. Mientras en los dos niveles anteriores, los estados "atractores" gozaban de estabilidad aquí ingresamos al mundo de la inestabilidad.

En este campo radican precisamente los aportes fundamentales realizados por Prigogine y sus discípulos <sup>6</sup>.

(5) He seguido la práctica de utilizar este término por no encontrar una traducción más adecuada para la expresión inglesa "attractor". Ni "atractivo" ni "atrayente" tienen, en castellano, el sentido que ella denota de atracción activa.

(6) Véase Prigogine (1980) y Prigogine y Stengers (1984).

Con sorpresa descubrieron que el comportamiento termodinámico de los sistemas alejados del equilibrio era completamente diferente -incluso opuesto- al que predecía el teorema de la producción mínima de entropía -válido, por tanto, sólo en la vecindad del equilibrio-.

### **La termodinámica del no equilibrio**

En contraste con las situaciones cercanas al equilibrio, el comportamiento de un sistema alejado del equilibrio se torna altamente específico. No existen leyes generales a las que obedezca; por el contrario, cada sistema es un caso particular que debe ser estudiado por separado.

No obstante, un resultado de carácter general alcanzado en el campo de la química es que una condición necesaria para la inestabilidad es la presencia de reacciones autocatalíticas, es decir que el producto de la reacción se encuentre presente en su propia síntesis. En efecto, en tales casos la ecuación cinética que corresponde a la reacción es una ecuación diferencial no lineal.

Dicha conclusión abrió un vasto campo de aplicación en biología molecular, donde numerosas reacciones dependen de mecanismos de retroalimentación positiva. Tal, por ejemplo, el caso de los ácidos nucleicos que contienen la información necesaria para la producción de proteínas, las cuales, a su vez, producen los ácidos nucleicos.

Del mismo modo sugiere, por la misma razón, que en el análisis de procesos económicos tales como la acumulación del capital o el crecimiento económico deberían encontrarse fenómenos de inestabilidad similares.

Volviendo a los resultados empíricos alcanzados, se destaca el hecho que los sistemas se comportan de un modo sustancialmente distinto en equilibrio que fuera de éste. Es así que en estados alejados del equilibrio se evidencia una extraordinaria sensibilidad hacia factores cuya influencia era despreciable en equilibrio.

Por ejemplo, un experimento -debido a Bénard- consiste en calentar el agua contenida en un recipiente plano: la diferencia de temperatura entre la superficie inferior -en contacto con la fuente de calor- y la superior -en contacto con el medio externo- determina que al alcanzar ella cierto valor el agua abandona el estado de reposo y se reorganiza en celdas hexagonales. La llamada "inestabilidad de Bénard" es el producto de un desplazamiento del centro de gravedad como resultado de la dilatación generada por el calor. La gravedad, cuya influencia sobre la delgada capa líquida es prácticamente nula en equili-

brio, adquiere una ponderación totalmente distinta cuando la diferencia de temperatura aleja suficientemente al sistema de aquél.

Mientras en la cercanía del equilibrio sólo grandes perturbaciones pueden determinar el paso de una estructura a otra, en cambio, pequeñas alteraciones en la región de inestabilidad pueden lograrlo.

Este es un fenómeno sobre el cual ya Maxwell había llamado la atención hace más de un siglo. Decía el autor de la teoría electromagnética de la luz:

“En todos estos casos existe una circunstancia común: el sistema tiene una cantidad de energía potencial, la cual puede ser transformada en movimiento, pero dicha transformación no puede comenzar mientras el sistema no haya alcanzado cierta configuración, para lo cual se requiere un despliegue de trabajo, el que, en ciertos casos, puede ser infinitamente pequeño y, en general, no guarda una proporción definida con la energía desarrollada a consecuencia del mismo. Por ejemplo, la roca desprendida por el hielo y que se balancea sobre un punto singular de la ladera de la montaña... Cada existencia por encima de cierto rango tiene sus puntos singulares: cuanto mayor el rango, mayor la cantidad de ellos. En estos puntos, influencias cuya magnitud física es demasiado pequeña para ser tomada en cuenta por un ser finito, pueden producir resultados de la mayor importancia”<sup>7</sup>.

Tales puntos son los hoy llamados **puntos de bifurcación**<sup>8</sup>.

Al alcanzar el sistema un punto de bifurcación, el mismo puede “optar” entre distintas alternativas. La elección es un proceso aleatorio. El sistema se toma allí -como hemos visto- altamente sensible a la influencia de diversos factores, aún de aquéllos que en equilibrio carecen de toda relevancia. Cualquier fluctuación en alguna parte del sistema puede multiplicarse hasta modificar su comportamiento macroscópico.

Mientras en la región estable, una pequeña oscilación tiende a amortiguarse, cerca de una bifurcación, en cambio, puede amplificarse hasta invadir todo el sistema, impulsándolo hacia un régimen cualitativamente diferente del anterior.

En las cercanías de un punto de bifurcación las fluctuaciones se toman muy pronunciadas. Allí se quiebran las leyes estadísticas.

El valor de la dispersión supera largamente al valor medio y el compor-

(7) Maxwell (1882), pág. 443.

(8) La teoría de la bifurcación tiene su origen en Poincaré; consiste en el estudio de ecuaciones cuyas curvas se bifurcan en un punto crítico, de modo que dos o más valores de  $y$  son posibles para un mismo valor de  $x$ .

tamiento resultante es producto de alguna oscilación antes que del valor promedio.

Dicho resultado puede ser, a priori, altamente improbable. El principio de Boltzmann sostiene que los cambios termodinámicos se dan de estados menos probables a estados más probables -por eso el de equilibrio es el estado más probable de un sistema. Dicho principio, empero, deja de ser válido en condiciones alejadas del equilibrio. Las nuevas estructuras que emergen no tienen por qué ser las más probables; es más, normalmente no lo son.

Prigogine acuñó el concepto de "estructuras disipativas" para enfatizar la estrecha relación, a primera vista paradójica, entre orden, por un lado, y disipación, desperdicio, por el otro. Con ello hace referencia a la emergencia de un nuevo ordenamiento temporal y/o espacial junto con una disipación de energía. Es el caso del experimento de Bénard, donde millones de moléculas se mueven coherentemente produciendo una compleja reorganización espacial del sistema junto con una transferencia de calor que implica un incremento en la producción de entropía y, por ende, una disipación de energía.

Claro está que este movimiento coherente de moléculas está en flagrante contradicción con lo que cabría esperar de acuerdo al cálculo de probabilidades. Para que aquél ocurra se requiere que las moléculas se desplacen con velocidades similares; obviamente, un movimiento coordinado de este tipo tiene una bajísima probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, sucede inexorablemente toda vez que se repite la experiencia.

Es una clara ilustración de que en condiciones alejadas del equilibrio el cálculo de probabilidades no es aplicable. Es que éste supone un comportamiento independiente por parte de las distintas moléculas; en cambio, la emergencia de un movimiento coherente como el descripto indica la existencia de una suerte de "comunicación" entre aquéllas que surge en condiciones alejadas del equilibrio. Partículas separadas por distancias macroscópicas asumen comportamientos similares; hechos locales tienen efecto en todo el sistema.

Ahora bien, no toda fluctuación en situaciones de no equilibrio genera una nueva estructura; en muchos casos las fluctuaciones son amortiguadas y el sistema permanece en estado estacionario. Difícilmente una perturbación baste para desbordar el estado inicial de una sola vez. Debe establecerse firmemente en una región y desde ahí invadir el resto del sistema. Según que la magnitud de la región inicial donde la fluctuación se ha instalado exceda o no de determinado valor crítico, ella se expandirá al conjunto del sistema o bien se extinguirá. Estudios teóricos y simulaciones numéricas muestran que el tamaño requerido del núcleo inicial para que una perturbación sea exitosa aumenta cuanto mejor

es la comunicación dentro del sistema. Por tanto, a mejor comunicación, mayor estabilidad. Ello es así porque el medio que rodea a la región sujeta a perturbación tiende siempre a atenuarla. Su éxito dependerá de la medida en que no sean eficientes las comunicaciones entre dicha región y el medio que la rodea.

Por otra parte, cuanto más complejo un sistema<sup>9</sup> mayor es el número de tipos de perturbación que amenazan su estabilidad. Por tanto, a mayor complejidad, mayor será el requerimiento de comunicación para preservar la estabilidad del sistema.

Existe, entonces, una suerte de competencia entre la estabilización vía la comunicación y la inestabilidad generada por las fluctuaciones. El resultado determina cuál es el umbral de estabilidad del sistema considerado.

En resumen, debe distinguirse entre estados de un sistema en los cuales la mayoría de las oscilaciones está condenada a extinguirse sin dejar huellas y regiones de bifurcación en las cuales aquéllas pueden perturbarlo. En éstas existe cierto tipo de fluctuación que está en condiciones de "explotar" en su beneficio las relaciones no lineales que hasta ahí mantenían la estabilidad del sistema y generar un nuevo ordenamiento. "Orden a través de fluctuaciones" es como Prigogine bautizó a este proceso<sup>10</sup>.

Investigar cuáles perturbaciones son susceptibles de amplificación y determinar los umbrales de estabilidad en cada caso son las cuestiones que debe encarar cada disciplina específica.

Los procesos que tienen lugar en condiciones alejadas del equilibrio resultan de la interacción entre necesidad y aleatoriedad, entre fluctuación y determinismo. Cerca de una bifurcación los elementos aleatorios adquieren una especial significación, su peso específico se amplifica, mientras que en el sendero intermedio entre bifurcaciones sucesivas los componentes determinísticos son los dominantes.

Necesidad y aleatoriedad no aparecen así como polos opuestos sino como elementos complementarios de cuya síntesis surgen los procesos de cambio.

(9) Interesados, como estamos, en la aplicación de las ideas expuestas al ámbito económico no podemos dejar de reflexionar, en este punto, que si hay algo que caracteriza a los sistemas económicos es precisamente su elevado nivel de complejidad.

(10) Prigogine y Stengers (1984), pág. 206.

## II - Equilibrio y estabilidad en economía

Es innegable la influencia que la Física construída a partir de Newton ha ejercido sobre el análisis económico.

Para señalar sólo un ejemplo, baste indicar que el objetivo perseguido por Walras, al desarrollar su modelo de equilibrio general no era otro, según sus propias palabras, que “convertir a la economía en una ciencia que pudiera igualarse con las ciencias matemáticas de la astronomía y la mecánica” <sup>11</sup>.

“La economía del equilibrio general walrasiano es la mecánica celeste newtoniana extendida al universo económico. Un conjunto de ‘planetas’ está constituido por los hogares que maximizan su utilidad; el otro, por las firmas que maximizan sus ganancias. Y cuando las reglas de maximización se utilizan para conducir a ambos conjuntos planetarios a un equilibrio estamos de regreso en la mecánica celeste” <sup>12</sup>.

Indudablemente, el modelo de equilibrio general se inspira en el modelo newtoniano de equilibrio planetario.

Como señalan Arrow y Hahn, “la noción de que un sistema social movido por acciones independientes en búsqueda de valores diferentes es compatible con un estado final de equilibrio coherente... es sin duda la contribución intelectual más importante que ha aportado el pensamiento económico al entendimiento general de los procesos sociales” <sup>13</sup>.

Pero todo el esfuerzo desarrollado en pos de demostrar la existencia de solución para un sistema de equilibrio general sería inútil si dicho equilibrio no fuera estable. Si éste fuera el caso, cualquier perturbación alejaría irremisiblemente al sistema de aquél. ¿De qué valdría demostrar exhaustivamente las propiedades de algo cuya duración puede ser efímera? De aquí el esfuerzo por probar la estabilidad del equilibrio o sea por evidenciar “que en toda economía real existen fuerzas que tienden a dirigirla hacia un equilibrio, si no se encuentra ya allí” <sup>14</sup>.

Por ello, la estabilidad ha sido considerada como una propiedad deseable de todo modelo económico.

(11) Walras (1926), pág. XX del Prefacio a la Cuarta Edición.

(12) Klein (1977), pág. 32.

(13) Arrow y Hahn (1977), pág. 14.

(14) *Ibid.*, pág. 309.

Por el contrario, la inestabilidad ha sido vista exclusivamente como algo indeseable, como un estorbo, como algo que no merece ser analizado.

Podría decirse que el análisis económico ha llegado hasta los umbrales de la inestabilidad sin llegar a traspasarlos.

Ello marca una situación muy similar a la que se presentó con el desarrollo de la termodinámica. Al entender ésta exclusivamente como termodinámica del equilibrio, "los procesos irreversibles eran vistos despectivamente como molestias, como perturbaciones, como temas no merecedores de estudio"<sup>15</sup>. Con el desarrollo de la termodinámica del no equilibrio, en cambio, se descubrió que nuevos tipos de estructuras pueden emerger precisamente en condiciones alejadas del equilibrio; procesos irreversibles, generados en condiciones de inestabilidad, dan lugar al surgimiento de nuevos ordenamientos. Su estudio pasó a ser del mayor interés.

### Los sistemas no lineales

No es mera casualidad que en ambas disciplinas se presenten situaciones paralelas también en este aspecto. Existen razones gnoseológicas que lo justifican.

En efecto, el manejo de sistemas lineales, como es sabido, es mucho más simple, desde el punto de vista matemático, que el de sistemas no lineales. Por ello, tanto la economía como la termodinámica se desarrollaron en buena medida en base a ecuaciones lineales.

"Si hasta ahora la mayoría de los autores se ha interesado en los sistemas lineales no es porque hayan creído que los hechos son tan simples; es a causa de las dificultades matemáticas contenidas en los sistemas no lineales"<sup>16</sup>, afirmaba Samuelson.

Ahora bien, un sistema lineal es una adecuada aproximación sólo si el sistema analizado es localmente estable. En caso contrario, si, por ejemplo, una pequeña perturbación inicial tiende a expandirse, la propia linealidad del sistema llevará a que dicha desviación crezca indefinidamente.

(15) Prigogine y Stengers (1984), pág. 12.

En el caso de la teoría económica, es preciso aclarar que de ninguna manera debe confundirse el enfoque del no equilibrio con el del desequilibrio. En la extensa literatura desarrollada con este último enfoque, el desequilibrio o bien es estable -el desempleo involuntario keynesiano en Patinkin en condiciones de rigidez de precios o salarios es un ejemplo claro al respecto- o bien afecta la posición de equilibrio que finalmente se alcance, que también es estable. No hay, por tanto, un análisis de la inestabilidad.

(16) Samuelson (1967), pág. 299.

Esto no es así, en cambio, en el caso de los sistemas no lineales. En éstos, es posible que el sistema presente inestabilidad local pero, sin embargo, esté acotado.

Del mismo modo, mientras para el análisis de estabilidad local resulta admisible una aproximación lineal a las ecuaciones dinámicas, no lo es si lo que se pretende explorar es el comportamiento del sistema en situaciones alejadas del equilibrio.

Por ello, mientras el uso de sistemas lineales resulta adecuado en un entorno del equilibrio, el tratamiento de situaciones alejadas del mismo requiere -como ocurrió en la termodinámica- de la utilización de sistemas no lineales.

Ello permitiría un fecundo tratamiento de la inestabilidad en economía, ingresando así a este recinto hasta hoy casi inexplorado.

El análisis de fenómenos tales como corridas bancarias, estallidos especulativos en el mercado cambiario, procesos hiperinflacionarios o la transición de regímenes económicos de un signo a otro -como ocurre contemporáneamente en Europa Oriental- parecen naturales candidatos a enriquecerse con tal enfoque.

El estudio de las fluctuaciones económicas ha sido uno de los pocos campos donde se ha trabajado en economía con modelos no lineales. Así, la utilización por Hicks <sup>17</sup> de "pisos" y "techos" en su modelo de multiplicador-acelerador implicó -desde el punto de vista matemático- la introducción de elementos no lineales, como bien señala Blatt <sup>18</sup>. A su vez, Goodwin ha hecho un amplio uso de elementos no lineales en sus modelos <sup>19</sup>.

Es natural que así haya sido dado que la modelización de las oscilaciones cíclicas puso rápidamente al descubierto las limitaciones de que adolecía el análisis lineal para ello.

En efecto, los modelos lineales sólo permiten cuatro tipos de trayectoria temporal, a saber: oscilatoria y estable; oscilatoria y explosiva; no oscilatoria y estable y no oscilatoria y explosiva.

En cambio, sólo un modelo no lineal posibilita la existencia de un ciclo límite estable hacia el cual todas las trayectorias de la variable considerada convergen. Es decir, permite modelizar un ciclo estable en el cual la variable

(17) Hicks (1950).

(18) Blatt (1983), pág. 162.

(19) Véase Goodwin (1935), Goodwin (1955), Goodwin (1967) y Goodwin (1977).

dependiente permanece oscilando indefinidamente a lo largo de una trayectoria cíclica.

En general, el análisis lineal no resulta apropiado -por las razones expuestas más arriba- para el estudio de situaciones alejadas del equilibrio.

Si el equilibrio "es un raro y precario estado" <sup>20</sup> no sólo en el mundo físico sino también en el económico el análisis del no equilibrio amerita avanzar en esa dirección no obstante las dificultades que la empresa enfrenta.

Ello permitiría estudiar los procesos de cambio que tengan su origen no ya en un desplazamiento paramétrico -como lo hace la estática comparativa- sino en una perturbación que aleje suficientemente al sistema del equilibrio.

Esto implica ampliar la óptica de la dinámica económica que tradicionalmente se ha circunscripto a determinar las condiciones que aseguran la estabilidad del equilibrio o la convergencia al estado estacionario.

En los años '50 y '60 el esfuerzo de los economistas matemáticos estuvo dirigido a modelizar el equilibrio general competitivo, labor que culminó en los trabajos de Arrow y Debreu. Esta fue la temática que estuvo en el centro de la actividad académica de los últimos 40 años.

Sin embargo, desde fines de los '60, importantes avances tuvieron lugar en el campo del instrumental matemático necesario para el estudio de los sistemas dinámicos, el cual pasó a ser un ámbito en rápida expansión dentro de las matemáticas.

Así, por ejemplo, la flexibilidad adquirida al pasar de dos a tres dimensiones el espacio de fase permitió considerar órbitas que anteriormente hubieran sido consideradas patológicas. En efecto, en un espacio de tres dimensiones existen órbitas periódicas para ecuaciones diferenciales que definen prácticamente cuanto tipo de nudo puede llegar a concebirse.

Ello ha permitido la identificación de nuevos tipos de atractores, como los llamados "atractores anómalos" que no presentan un comportamiento periódico. Básicamente, se trata de un tipo de movimiento que aparenta aproximarse a un estado límite mas, súbitamente, experimenta un viraje y tiende hacia otro estado límite; sin embargo, antes de alcanzar éste, vuelve a registrarse un viraje súbito y comienza a aproximarse nuevamente al primer estado límite y así continúan los virajes repentinos una y otra vez hasta el infinito. Dichos virajes son totalmente impredecibles aún cuando las ecuaciones que describen el movimiento son determinísticas. El momento preciso en el que se producen se halla condicionado por el más leve cambio en las condiciones iniciales.

(20) Prigogine y Stengers (1984), pág. 128.

Asociado al concepto de atractor anómalo aparece el de comportamiento "caótico", que es típico de sistemas caracterizados por tal tipo de atractor. Un comportamiento se denomina caótico cuando trayectorias que parten de puntos tan cercanos como se quiera en el espacio de fases se alejan unas de otras de manera exponencial en el curso del tiempo. En los últimos años los físicos y matemáticos han descubierto multitud de sistemas caóticos.

Las sofisticadas herramientas analíticas desarrolladas en los últimos años junto con el uso de computadoras de elevada capacidad operativa posibilitan trabajar con complejos sistemas dinámicos.

Todo ello ha generado, en los últimos 15 años, un significativo resurgimiento del interés por la dinámica económica.

Sin embargo, son aún escasas las aplicaciones al estudio del comportamiento de sistemas económicos alejados del equilibrio <sup>21</sup>.

### El eje temporal

Mientras el análisis del equilibrio es apropiado para fenómenos para los cuales el eje temporal resulta irrelevante, el no equilibrio pone en primer plano la cuestión de la evolución temporal.

Si bien es verdad que posiblemente no exista ninguna estructura que sea perfectamente estable ni en la Naturaleza ni en la sociedad, también es cierto que sus tasas de cambio en el tiempo suelen ser significativamente diferentes. Cuando éstas son relativamente bajas, el fenómeno se presta para ser analizado desde la óptica del equilibrio, como un sistema de relaciones interdependientes entre variables.

Por el contrario, cuando aquéllas son altas, es el proceso de cambio el que demanda explicación y ello requiere explicitar el comportamiento temporal de las variables involucradas. La inestabilidad va así unida de la mano de la **temporalidad**.

Generalizando, podría decirse que toda estructura no es sino una cristalización temporaria de un **proceso**, un momento de éste -más o menos prolongado, según los casos- en que los cambios son despreciables y la identidad se preserva.

Cuando dicho momento es suficientemente prolongado, la estructura se convierte en un objeto autónomo de estudio.

(21) Obras recientes que presentan instrumentos analíticos y algunas aplicaciones del análisis dinámico a situaciones de no equilibrio son Barnett (1989) y Brock y Malliaris (1989). En el mismo sentido puede verse el artículo sobre la dinámica caótica de Baumol y Benhabib (1989).

Cuando, por el contrario, la estructura es sólo una configuración efímera, el interés del análisis se desplaza al **proceso** de cambio del cual forma parte. Es el caso de las estructuras inestables.

Ahora bien, como señalara Hicks, todo "proceso es un **proceso en el tiempo**; y el tiempo se desplaza en un solo sentido. El pasado y el futuro son cosas distintas" <sup>22</sup>.

Es decir, el desplazamiento en el tiempo presenta una diferencia esencial respecto al movimiento en el espacio: el tiempo fluye en un solo sentido; es "una variable típicamente asimétrica" <sup>23</sup>. Tal asimetría lleva a distinguir entre procesos reversibles e irreversibles.

Y aquí encontramos otro posible punto de contacto entre economía y termodinámica.

### **Una digresión: entropía y progreso económico**

No se trata, empero, de trasladar mecánicamente a la esfera económica los resultados alcanzados en la termodinámica.

Este, creemos, ha sido el error cometido por Rifkin y Howard <sup>24</sup> en el difundido libro que fuera calificado por un exagerado comentarista como "el epitafio de la ciencia económica". Sus autores -discípulos del Profesor Georgescu-Roegen- plantean la necesidad de una reformulación de la teoría económica a partir de la segunda ley de la termodinámica. Se trata de un replanteo de todo el análisis económico a partir de fijar, como objetivo a alcanzar, la conservación de los recursos finitos.

No es éste el lugar para detenernos en un exhaustivo análisis del voluminoso trabajo comentado pero dado que constituye un vigoroso intento de utilizar el instrumental termodinámico en la teoría económica parece oportuno señalar por qué creemos que no es precisamente un modelo del tipo de aporte que aquella disciplina puede hacer al pensamiento económico.

Inspirados por la crisis energética de los '70, Rifkin y Howard ven en ella una vívida ejemplificación del paso de formas disponibles a indisponibles de energía, del irreversible incremento en la entropía y de la evolución del orden al creciente desorden.

(22) Hicks (1965), pág. 24. El subrayado es nuestro.

(23) Beker (1986).

(24) Rifkin y Howard (1981).

Su tesis central es la siguiente: "En esencia la segunda ley (de la termodinámica) dice que todo en el universo comenzó con estructura y valor y se está moviendo irrevocablemente en la dirección del caos y el derroche. La entropía es la medida de cuánto de la energía disponible en un subsistema del universo se transforma en indisponible. Conforme a la ley de la entropía, toda vez que alguna apariencia de orden se crea en alguna parte de la tierra o del universo, lo es a expensas de crear un aún mayor desorden en el medio que la rodea... La ley de la entropía destruye la noción de la historia como progreso. La ley de la entropía destruye la noción de que la ciencia y la técnica crean un mundo más ordenado" <sup>25</sup>.

Por definición, el Universo es un sistema aislado - no intercambia materia ni energía con nadie. Por tanto, en él la flecha del tiempo -como señalara Eddington- se corresponde con una entropía creciente. La entropía es un indicador de la evolución del sistema.

En un sistema cerrado como es la Tierra -no intercambia prácticamente materia pero sí energía con el exterior- la variación de entropía, en cambio, puede tener signo negativo. Basta que en la fórmula usada en la Sección I se verifique:

$$\frac{dS_e}{dt} < 0$$

y

$$\frac{dS_e}{dt} > \frac{dS_i}{dt}$$

para que  $\frac{dS}{dt} < 0$ .

Ello implica que puede pasarse del desorden al orden en un subsistema, transfiriendo entropía al exterior.

Esto es lo que se supone viene ocurriendo en la Tierra desde épocas remotas. La vida y el trabajo humanos implican el uso de energía y, por tanto, el incremento de entropía. A la inversa, la energía disponible podría conservarse totalmente si la vida no existiera. ¿Sería éste acaso un criterio útil para definir qué debe entenderse por progreso?

(25) Ibid., pág. 6.

El problema de qué debe interpretarse por progreso, al igual que el de qué significa en cada caso orden y desorden, parece ser lo suficientemente complejo como para no admitir un enfoque tan simple como el que Rifkin y Howard proponen.

Lo que para la Humanidad es mayor orden en la Tierra tiene su contrapartida en un mayor desorden en el Universo. Pero así como no puede sostenerse que **toda** "exportación" de entropía sea sinónimo de progreso tampoco lo es que **toda** producción de la misma sea necesariamente regresiva.

"No es sorprendente que la metáfora de la entropía haya tentado a un número de escritores sobre problemas económicos o sociales. Obviamente, aquí debemos ser cuidadosos: los seres humanos no son objetos dinámicos y la transición a la termodinámica no puede ser formulada como un principio de selección sostenido por la dinámica"<sup>26</sup>.

## CONCLUSIONES

La teoría económica ha dedicado un ingente esfuerzo al análisis del equilibrio.

Esta labor ha alcanzado su culminación con esa formidable construcción analítica que es la teoría del equilibrio general.

Llegados a este punto cabe preguntarse si no habrá arribado el momento de desarrollar el análisis del no equilibrio.

Este interrogante aparece inspirado en el exitoso desenvolvimiento alcanzado en los últimos tiempos por la termodinámica del no equilibrio, que permitió plantear y resolver problemas que no podían ser enfocados dentro de los marcos de la termodinámica del equilibrio.

La economía del no equilibrio apuntaría a iluminar la conducta de los sistemas alejados del equilibrio, ilustrando sobre los procesos de cambio.

Ello implica estudiar la inestabilidad, viendo en ella no ya una molestia o dificultad que debe dejarse de lado para no perturbar el desarrollo analítico, sino una eventual fuente de modificaciones en el comportamiento del sistema analizado.

Creemos que este rumbo permitiría arrojar luz sobre cuestiones que, por su índole, aguardan aún respuesta por parte de la teoría económica.

(26) Pizogonev y Stengers (1984), pag. 298.

## REFERENCIAS

- ARROW, K.J. y HAHN, F.H. *Análisis general competitivo*. Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1977.
- BARNETT, W., *Economic Complexity. Chaos, Sunspots, Bubbles and Nonlinearity*. Cambridge University Press, Londres, 1989.
- BAUMOL, W.J. y J. BENHABIB, *Chaos: Significante, Mechanism and Economic Applications*. Journal of Economic Perspectives, vol. 3, Nº 1, 1989, págs. 77/105.
- BEKER, V.A., "Asimetría y teoría económica". *El Trimestre Económico*, México, abril-junio de 1986, págs. 215-223.
- BLATT, J.M., *Dynamic Economic Systems*. M.E. Sharpe Inc., N. York, 1983.
- BROCK, W.A. y A.G. MALLIARIS, *Differential Equations, Stability and Chaos in Dynamic Economics*, North-Holland, Amsterdam, 1989.
- EDDINGTON, A. *The Nature of the Physical World*. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1958.
- GOODWIN, R.M., "The non-linear accelerator and the persistence of business cycle". *Econometrica*, 3, 1935, págs. 1-17.
- GOODWIN, R.M. "A model of cyclical growth". En *The Business Cycle in the Post War World*, editado por E. Lundberg, 1955, págs. 203-223.
- GOODWIN, R.M. "A growth cycle". En *Capitalism and Economic Growth*, editado por C.H. Feinstein, Cambridge University Press, Londres, 1967, págs. 54-58.
- GOODWIN, R.M. "Un ciclo de crecimiento". En *Crítica de la teoría económica*, editado por E.K. Hunt y J.G. Schwartz, Fondo de Cultura Económica, México, 1977, págs. 421-428.
- HICKS, J.R. *A Contribution to the Theory of the Trade Cycle*. Oxford University Press, Oxford, 1950.
- HICKS, J.R. *Capital and Growth*. Clarendon Press, Oxford, 1965.
- KLEIN, B.H. *Dynamic Economics*. Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1977.
- MAXWELL, J.C. "Science and Free Will" en L. Campbell y W. Garnett, *The Life of James Clerk Maxwell*. Macmillan, Londres, 1882.
- PRIGOGINE, I. *From Being to Becoming*. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 1980.
- PRIGOGINE, I y I. STENGERS. *Order out of chaos*. Bantam Books, N. York, 1984.
- RIFKIN, J. y T. HOWARD. *Entropy: A New World View*. Con Postfatio del Dr. N. Georgescu-Roegen Bantam, N. York, 1981.
- SAMUELSON, P.A. *Fundamentos del análisis económico*. El Ateneo, Bs. As., 1967.
- VAZQUEZ PRESEDO, V. "Equilibrio económico y otros equilibrios", en *Métodos cuantitativos en las ciencias sociales*. Ed. Macchi, Bs. As., 1979, págs. 189/223
- WALRAS, L. *Eléments d'économie politique pure*. Etablissements Henri Dupuy, Paris, 1926.
- WOODCOCK, A. y DAVIS M. *Teoría de las catástrofes*. Ed. Cátedra, Madrid, 1986.

## HACIA UNA TEORÍA DEL NO EQUILIBRIO ECONOMICO

## RESUMEN

El presente trabajo se plantea el interrogante acerca de si, desde el punto de vista metodológico, a la ciencia económica podrían resultarle de utilidad los recientes avances registrados en el campo de la termodinámica del no equilibrio.

En una primera parte del trabajo se reseñan dichos progresos. En una segunda, se señala el ingente esfuerzo que la teoría económica ha brindado al análisis del equilibrio. En cambio -se indica- es escaso el dedicado a analizar el comportamiento de los sistemas alejados del equilibrio.

Precisamente, la economía del no equilibrio posibilitaría estudiar los procesos de cambio, visualizando la inestabilidad como una fuente de modificaciones en el comportamiento de los sistemas, tal como ha ocurrido en el campo de la termodinámica del no equilibrio.

## TOWARD AN ECONOMIC NON-EQUILIBRIUM THEORY

## SUMMARY

This paper poses the question whether, from a methodological point of view, Economic Theory could benefit from recent developments that took place in the field of non-equilibrium Thermodynamics.

In the first part these developments are surveyed. In the second one, the superb effort that Economic Theory has devoted to equilibrium analysis and the little attention that analysis of the behavior of far from equilibrium systems has deserved are remarked.

In this respect, it is argued that non-equilibrium Economic Theory would precisely allow to analyse the processes of change, viewing instability as a source of modifications in the behavior of systems, just as it happened in non-equilibrium Thermodynamics.