

Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Nada humano me es ajeno

UACM

Maestría en Dinámica No Lineal y Sistemas Complejos

Sistemas económicos: ¿equilibrio mecánico o estado más probable?

Tesis que para obtener el grado de
Maestro en Dinámica no Lineal y Sistemas Complejos

Presenta

Harvey Spencer Sánchez Restrepo

Director de tesis
Dr. Pablo Padilla Longoria

México D. F. Octubre de 2007

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

UACM3 TDV157

Índice general

Introducción	v
1. La metáfora del equilibrio	1
1.1. Determinismo: leyes económicas y mecánica	2
1.2. La economía: una condensación de dislocaciones	12
1.3. El indeterminismo humano	17
1.4. La crisis del paradigma dominante	20
2. Sistemas termoeconómicos	25
2.1. Variables termoeconómicas	26
2.2. Energía monetaria	38
2.3. Entropía e información	41
2.4. Sobre la distribución del ingreso	57
2.5. Interacción entre sistemas económicos	63
2.6. Migración y salarios	68
3. El mercado y los precios	75
3.1. El intercambio de bienes	76
3.2. Interacción de mercados con un único bien	77
3.3. El precio: una propiedad emergente	79
3.4. Interacción de mercados con diversos bienes	97
Discusión	101
Apéndice	105

Lo verdaderamente importante...

Deseo reconocer que el presente trabajo es sólo uno más de los tantos logros de mi Madre. Por supuesto, la tardanza, las incongruencias, los malos pensamientos y demás errores son frutos provenientes de la parcela de mis distracciones.

También debo acusar a mi Padre de ser el autor intelectual de éste maravilloso andar; pues fue él quién, sin ninguna precaución, sembró la semilla al entregar en mis manos la convocatoria para ser admitido en la primera generación de este posgrado y ya lo ven ¡hasta me gradué!

Durante este viaje se trazaron distintas veredas y sería difícil mencionarlas todas. Aún así, deseo expresar mi gratitud a Lorena por haberme acompañado en los vuelos que nuestra imaginación nos permitió y aún en otros. Todavía no existe un dispositivo que pueda calcular el cariño que le tengo pero estoy pendiente, apenas tenga noticias de que han inventado alguno, pido mano para dirimir cualquier controversia. Deseo mencionar a mis dos hermanos: Alexie y Cristina, que estoy seguro me han de acompañar en todas las curvas y pendientes de esta breve travesía. Igual a mis otros hermanos: Oscar, Daniel, Edward, Paco, Alberto, Vicente, Elí y Belén ¡Siempre dementes, siempre en el corazón!

También quiero expresar mi admiración a mi entrañable amiga Mariana por su inagotable sonrisa, su ingenio al hablar y su calidez al escuchar.

Asimismo, quiero agradecer a Pablo Padilla por haber aceptado dirigir estas ideas, por sus valiosas sugerencias y sus excepcionales clases. Pero, antes que todo, por ser un gran amigo.

Hago un especial reconocimiento a los investigadores José Luis Gutiérrez, Germinal Cocho, Pedro Miramontes y Faustino Sánchez cuyas cátedras me dejaron tantos conocimientos y reflexiones que es imposible dejar de notar su influencia incluso en mi lenguaje habitual. Por último, agradezco a Fernando Camacho y Toño Neme por sus aportaciones ¡les queda una gran tarea por continuar!

Con ustedes recorrí el pasado y decidí mi futuro que es ahora presente. ¡Gracias!

Resumen

En este trabajo se propone un nuevo enfoque para estudiar la economía desde un punto de vista estadístico basado en dos niveles ontológicos: el mundo microscópico y el macroscópico. El primero está basado en el dinero como energía y la distribución del mismo, el cual conduce a las interacciones individuales entre los agentes económicos. El segundo se relaciona con variables tales como nivel de vida y desempleo como propiedades emergentes derivadas del comercio de bienes y servicios bajo distintas estructuras de mercado.

Asimismo, se sugieren métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, para el estudio de las restricciones institucionales en el establecimiento de atractores económicos. Esta tarea resulta difícilmente realizable en el marco de las teorías basadas en la metáfora mecánica.

Palabras clave: *temperatura, distribución del dinero, economía, entropía, desempleo.*

Abstract

In this work we formulate a new approach to economics from a statistical point of view, which is actually based on two ontological levels: the microscopic and the macroscopic world. The first approach is based on money as energy and its distribution and leads to individual interactions among economic agents. On the other hand, the second one leads to variables such as standard of living and unemployment as emergent properties derived from trading of goods and services under different market structures.

Thus, we give qualitative and quantitative methods for studying the role of institutional restrictions in order to establish economical attractors. This would be a very difficult task in the framework of theories based on the mechanical metaphor.

Keywords: *temperature, income distribution, economics, entropy, unemployment*

Introducción

Desde el punto de vista económico, las sociedades humanas están organizadas en poblaciones, las cuales constituyen a su vez comunidades entre las que se efectúan intercambios de diversos bienes y servicios. Cada uno de los pequeños grupos que las conforman se han especializado en obtener o producir algún bien o servicio. Así, las comunidades crean instituciones sociales llamadas mercados en los cuales existen reglas bien establecidas. Los mercados de diferentes poblaciones se agrupan en sistemas económicos y, al interrelacionarse, la totalidad de éstos ha dado lugar a la llamada economía global. Por supuesto, éste enfoque de niveles de organización económica no es un resultado casual, sino que las unidades mencionadas pueden reconocerse como categorías sociales.

Se puede entonces definir un sistema económico como *un conjunto de agentes que se interrelacionan con un mismo lenguaje en un tiempo dado, entre los cuales es de vital importancia el intercambio de bienes y servicios bajo reglas bien definidas*. Un sistema económico presenta atributos tales como masa monetaria, nivel de vida, tasa de consumo, precios, tasa de actividad, distribución del ingreso, etc., características típicas de éste nivel de organización.

Existen muchas razones intrínsecas por las cuales el estudio de las restric-

ciones institucionales y la información asimétrica es, hoy en día, un aspecto central de la economía. En lo que atañe al comportamiento cualitativo, hay tantas incógnitas que incitan a la curiosidad científica, que esta razón es suficiente para haber motivado la mayoría de los estudios y propuestas para el análisis de la dinámica de los mercados. Sin embargo, debe admitirse que la mayoría de los programas de investigación en economía son financiados por aquellos sectores que desean obtener ventajas de cualquier índole con el único fin de generar riqueza. No es necesario aclarar que el presente trabajo es de corte puramente académico.

También es del conocimiento general, la potencialidad y rapidez que tienen algunos agentes para reproducir dinero realizando negocios de manera “legal”. Qué el monto de dinero en su poder es de tal magnitud que podrían alimentar a la totalidad de los habitantes de la Tierra durante toda su existencia y que dicha riqueza la han logrado en un lapso relativamente corto. Sin embargo, la mayoría de estos “entes exitosos” busca la manera de invertir su capital de la manera más eficiente. La motivación de esta carrera frenética se basa en un arquetipo occidental resumido por las funciones de utilidad: *gana quién tiene más y más es mejor que menos*.

Pero ¿qué es lo que permite la riqueza de tales personas? ¿qué mecanismos permiten que las economías pobres se vuelvan más pobres mientras más comercian con las ricas? ¿por qué los tratados de libre comercio no son nunca lo que se anunciaba: prosperidad y riqueza para las naciones involucradas?

Ligado a este tipo de cuestiones es de especial interés el caso de las economías que permanecen con altas tasas de desempleo abierto a pesar de existir una oferta de trabajo insatisfecha ¿por qué existen las recesiones? ¿por qué, si un trabajador produce un bien y lo deja listo para su comercialización, no le es posible adquirirlo?

Poder describir y explicar este tipo de fenómenos con base en modelos matemáticos tiene implicaciones muy significativas en lo teórico y lo práctico. Los encargados de las políticas públicas necesitan saber las consecuencias de sus decisiones en materia económica. Si se tiene un marco de conocimientos cuyos modelos no coinciden, ni cuantitativa ni cualitativamente, con los fenómenos económicos ¿cómo puede pedirse que se tomen decisiones con base en dichos modelos?

Así, la meta de este trabajo es proponer un paradigma diferente al que subyace en los modelos neoclásicos y presentar un nuevo marco conceptual que permita lecturas diferentes de los distintos fenómenos observados en los sistemas económicos.

En el capítulo 1, se analiza la metáfora del equilibrio y las ideas que hay detrás del equilibrio de las teorías neoclásicas: determinismo y leyes mecánicas. Se deducen algunas contradicciones de los principios e hipótesis del enfoque utilitarista y de sus implicaciones en la crisis del paradigma dominante y de la ciencia económica fundada en el determinismo.

En el capítulo 2, se presenta a los sistemas económicos desde un enfoque termodinámico en un marco en el que las situaciones intertemporales son irrelevantes. Se presentan variables de estado tales como energía monetaria, temperatura económica, entropía, migración, etc. y se definen como *variables termoeconómicas*. Se exponen diversas estructuras de mercado en donde se imponen restricciones, primero al interior y después en los distintos modos de interacción con otras economías. Aquí se responden varias de las preguntas planteadas en el párrafo anterior y se originan algunas nuevas del tipo ¿cómo será posible alcanzar tal estado particular? o ¿cómo evitar que, bajo ciertas restricciones sobre el ingreso -o la distribución del mismo- tal economía sea aún más pobre?

Asimismo, se exploran los estados estacionarios en el corto plazo y las condiciones para el equilibrio si se permite la migración de trabajadores entre economías. En la última sección, se trata el problema de la fijación del salario y el desempleo como una característica inherente a ciertas estructuras en el mercado de trabajo, lo cual responde a otra de las interrogantes que los economistas clásicos tienen por paradójica, replanteando el concepto de equilibrio.

En el tercer y último capítulo, se analizan el mercado y los precios, siendo éstos últimos una propiedad emergente y fundamental para el entendimiento de la distribución del dinero y los bienes entre la población. Se considera la creación de zonas de riesgo estimuladas por la regulación de precios o fijación de cotas en los mismos.

Más adelante se retoma el “mercado de limones” y se dan argumentos a favor de la honestidad como un requisito indispensable para el establecimiento de una economía creciente por medio del planteamiento de *los contratos potenciales* y su relación con los bienes adquiridos dentro de una economía -incluyendo restricciones sobre el precio de éstos. Se muestra además que la coexistencia de mercados de “alta” y “baja” calidad es dañina para los mercados y que la misma provoca inestabilidad en el sistema.

En la última sección, se hace interactuar a dos mercados con bienes diversos y se obtiene un resultado clásico bajo un razonamiento y una metáfora totalmente diferente a la formulación marginalista: en el estado de equilibrio, el monto de dinero gastado en la última porción de bienes por unidad de capacidad de reemplazo es el mismo para todos los tipos de bienes representados en el mercado.

Capítulo 1

La metáfora del equilibrio

-¡Oh ánima amable y buena que vienes a visitar en este aire negruzco a nosotros que teñimos el mundo de sangre! Si fuese nuestro amigo el rey del universo, le rogaríamos por tu paz, ya que te apiadas de nuestro cruel destino. Dinos lo que te agrada oír y decir, que con gusto te lo diremos y escucharemos, mientras que, como ahora, el viento aquí esté callado.

-Dante Alighieri

Commedia

A lo largo de este capítulo se analizan las corrientes de pensamiento que han conducido al establecimiento del paradigma económico actual. En la primera sección se señala el trasfondo intelectual que desde hace dos siglos ha permeado la idea de bienestar de los sistemas económicos. En la segunda parte se discute sobre la viabilidad de los modelos económicos basados en la metáfora del equilibrio mecánico. Más adelante se presenta el marco conceptual y algunas formulaciones termodinámicas. En este sentido, se discute sobre el indeterminismo humano y algunas implicaciones de las conductas

adaptativas. En la última sección se deduce el agotamiento de los modelos deterministas al mismo tiempo que se expone parte del instrumental de la termodinámica y la mecánica estadística que han de emplearse para explicar algunos fenómenos económicos.

1.1. Determinismo: leyes económicas y mecánica

Hace más de siete siglos, Florencia, la ciudad de Toscana, se encontraba en un periodo de fuerte agitación política y social. Ahí mismo, al pie de los apeninos y bañada por el Arno, nació Dante Alighieri a finales de mayo de 1265. Dante fue siempre un inalterable güelfo, circunstancia esencial en su vida y por consiguiente en toda su obra, en particular en la *Commedia*, una de las más acabadas obras literarias de todos los tiempos, donde el mundo físico y la historia del hombre, miserable y esplendoroso, se colapsan en su peregrinación a través de las tres regiones de ultratumba: bellezas del Paraíso, durezas del Purgatorio y desolaciones del Infierno.

En las tres regiones descritas por Dante se exhibe la importancia de los tratos y trueques llevados a cabo en lugares “reales y materiales” ajustados al Universo explicado por el sistema astronómico de Ptolomeo. En cuanto a la descripción del Estado y sus instituciones, se exponen los atributos morales de las relaciones comerciales y políticas entre los hombres y las consecuencias de los distintos proceder. En esta novela se integran elementos bíblicos y mitológicos en una comunión del “conocimiento comprobado” que impacta directamente las finanzas y las relaciones comerciales de sus habitantes.

Alrededor de cuatro siglos después, otro ilustre personaje tuvo la oportunidad de reflexionar sobre las finanzas a partir de su prestigio como hombre de ciencia, nos referimos a Sir Isaac Newton, a quién no tenemos necesidad

de presentar, y cuyo cargo como director de la casa de moneda dió lugar a la célebre expresión: “puedo calcular el movimiento de los astros, pero no la locura de la gente” [84].

En general, no importa qué versión de la historia de la humanidad se desee narrar, siempre se pondrán de relieve los hombres que han dejado rastros de bordado y de finos hilos sobre la gabardina que cubre a la humanidad de artes, conocimientos, añoranzas, vaticinios, maldiciones, promesas y sotanas. Esta herencia se encuentra íntimamente ligada a la ciencia y las instituciones sociales, perteneciendo la Economía a la primera categoría y el mercado a la segunda.

Desde su aparición, hace más de cuatro siglos, la ciencia contemporánea ha ejercido una marcada influencia en el pensamiento y la sociedad humana. La mecánica tradicional proporcionó una de las metáforas más duraderas que jamás ha existido. Mecánico era el Universo, éste se concebía como un inmenso aparato de relojería que, según los científicos de la época, marchaba con precisión infinita, y también mecánicos eran todos los organismos, incluido el humano cuyo corazón era una bomba hidráulica.

Más adelante, a mediados del siglo XVIII, el imperio de la razón continuaba brillando en todo su esplendor. El gran castillo del determinismo mecánico se mantenía en creciente auge y cada vez más propuestas y abusos eran realizados en nombre de las “leyes del universo” anticipando la cosmovisión Laplaciana. Aunque ya desde finales del siglo XVIII, las fuerzas crecientes de la industrialización habían llegado a su punto crítico, después de tres siglos de gestación, la acumulación de la información técnica, hecha posible por la imprenta de Gutenberg, había engendrado muchas innovaciones claves.

Desde 1712, los motores atmosféricos de Thomas Newcomen estaban lit-

eralmente impulsando el lanzamiento de la industrialización europea por medio del drenar de las minas de carbón inundadas. Con el advenimiento del carbón barato, la tecnología de la producción de acero se mejoró radicalmente, haciendo posible una proliferación de máquinas de precisión, incluyendo el motor de vapor de Watt. Al mismo tiempo, en Inglaterra, los nuevos métodos de cultivo habían aumentado considerablemente el rendimiento del trigo y ya para 1770 las primeras fábricas textiles impulsadas por ruedas hidráulicas empezaban a funcionar.

La fuerza impulsora de lo que más tarde se denominaría la Revolución Industrial comenzó también a trastocar los siglos de estancamiento rural y aislamiento. Por primera vez, el comercio internacional de granos, azúcar, té, algodón, tela y maquinaria había alcanzado el punto en que se volviera vital para el bienestar del inglés promedio. De este cambio surgieron nuevas preguntas críticas: ¿Debería Inglaterra comprar granos a los extranjeros y depender de ellos para alimentar a su población explosiva? o ¿Debería proteger a los agricultores con barreras arancelarias altas y buscar la autosuficiencia? Éstas y otras preguntas comenzaron a ser más y más frecuentes entre las naciones que evolucionaban y se adaptaban ante los distintos escenarios que emergían como producto de las interacciones entre sus economías, las cuales se hacían cada vez más complejas y cuyos mercados se alejaban cada vez más de interactuar de manera lineal debido al continuo crecimiento, tanto en volumen como en variedad, de bienes y servicios.

También por estos tiempos, el Dr. Samuel Johnson, famoso lexicógrafo, expresó: “No hay nada más importante que requiera ser ilustrado por la filosofía [la ciencia] que el comercio” [95], dando origen a un par de preguntas cuyas respuestas fueron fundamentales para la construcción de la teoría económica clásica: ¿Habrán “leyes de movimiento” que regulen la economía?

¿Podría un Newton de la economía revelar el sencillo diseño tras el aparente caos de la actividad económica?”.

Ésta fue la tarea aturdidora que los primeros “filósofos mundanos” se plantearon. Adam Smith, un profesor escocés de filosofía, fue el primero de este pequeño grupo que luchara seriamente con las cuestiones básicas de la vida económica. No es sorprendente que Smith fuera influido por el modelo del universo físico mientras buscaba el “orden natural” de la economía. Donde Newton explicaba que la gravitación era la fuerza central que mantenía íntegro todo el universo, él argumentaba que el egoísmo mantenía a la sociedad humana junta.

Adam Smith no llegó, mediante el razonamiento abstracto, a éste postulado de la primacía del interés propio. Era un filósofo, pero también un trotamundos experimentado. El papel principal del egoísmo en su sistema de pensamiento económico se desarrolló a partir de la observación personal de la conducta humana. En su primer gran tratado sobre la economía *The Wealth of Nations*[99], Smith redactó uno de los párrafos más famosos en toda la literatura económica:

No es por la benevolencia del carnicero, el cervecero o el panadero que esperamos la cena, sino por su punto de vista respecto a su interés propio. Nos dirigimos, no a su humanidad sino a su amor propio, y nunca les comentamos nuestras propias necesidades sino de las ventajas de ellas”.

Por supuesto, al plantear su “ley de gravitación universal”, Isaac Newton nunca se molestó en si ésta debería existir o no. Newton simplemente observó el hecho de la existencia de la gravitación. De la misma manera, Adam Smith no edificó su análisis de la economía con base en cómo pensaba

que la gente debería actuar sino que construyó la teoría sobre sus observaciones de cómo actuaban de hecho, argumentando que el interés propio hace que la gente haga buen uso de otra característica humana común. Por varias razones algunas personas son más adeptas a ciertas actividades que otras. Como Smith explicaba, aun en una tribu primitiva, una persona más capaz en hacer arcos y flechas que en la cacería tendería a especializarse en aquellas tareas y convertirse en el armero de la tribu, intercambiando sus productos por los animales cazados por otros miembros del grupo. Los cazadores, el armero y todos los miembros de la tribu se beneficiaban por su especialización e interdependencia.

De esta manera, la inherente diversidad del talento individual, combinada con el deseo humano innato de satisfacer el interés propio, conduce a los miembros de la sociedad a organizarse para realizar tareas para las cuales son particularmente adecuados. Guiados por las tasas auto-reguladoras de intercambio de los precios del mercado, los productores intercambian sus bienes por los productos de otros. Paradójicamente, cuando los individuos persiguen sus aptitudes particulares en un esfuerzo de satisfacer sus deseos egoístas, el resultado es la armonía social. Siguiendo esta lógica, Adam Smith argumentaba en contra de las leyes que limitaban el libre comercio. Alegaba que la estructura de libre mercado extendía la parte relevante del mismo y permitiría una división más intensa de trabajo, mayor productividad y, en consecuencia, mayor bienestar social. Ésta fue la esencia optimista de la filosofía económica de *laissez-faire* de Smith.

Aunque Smith escribía a mediados del siglo XVIII -la víspera de la revolución industrial- y conocía personalmente a inventores como James Watt, no pudo prever el auge de las nuevas tecnologías, el crecimiento explosivo de las fábricas, el desarrollo de las enormes ciudades o cualquiera de los demás

cambios radicales que estaban a punto de transformar la sociedad. Cuando divisaba el futuro, Adam Smith veía más de lo mismo. Los mercados libres más amplios permitirían una mayor división de trabajo, lo cual a su vez rendiría mayores cantidades de productos conocidos. Como el modelo newtoniano, la economía de esta corriente de pensamiento económico era esencialmente estable. De esta manera sólo logró describir la maquinaria de la economía de mercados sin prever que el mecanismo mismo fuera a experimentar cambios sustanciales con implicaciones dramáticas en la interacción de las culturas, las formas de poder, la cosmovisión e incluso los cultos a las “fuerzas y poderes sobrenaturales”.

La corriente de pensamiento de Adam Smith no estaba entonces -ni lo está ahora- en lo absoluto marginada. Aunque escribieron varias décadas después de que se publicara *The Wealth of Nations* -y mucho después del comienzo de la revolución industrial- los otros dos patriarcas de la economía clásica, David Ricardo y Thomas Malthus, también conceptualizaron la economía como un sistema cerrado e inmutable. Ricardo, un corredor de bolsa vuelto filósofo de la economía tremendamente exitoso, publicó su tratado *On the principles of Political Economy and taxation* en 1817[94]. Ahí describió la economía como lo que ahora llamaríamos un juego de suma cero, es decir, solamente está disponible una cantidad fija de recursos, así que lo que gane un grupo de la sociedad, otros tendrán que perderlo. Por esta lógica, Ricardo predijo una lucha entre los trabajadores y los propietarios de las fábricas que no beneficiaría a ninguno. Argumentó que mientras la población crecía, los precios de la comida subirían y los terratenientes que controlaban las tierras cultivables acabarían con toda su riqueza. Asimismo, David Ricardo también creía que el sistema de mercados inevitablemente produciría terratenientes extremadamente ricos y trabajadores y campesinos terrible-

mente pobres.

Años más tarde, las ideas anteriores se volverían claves para el pensamiento económico de Karl Marx. El pronóstico pesimista de Ricardo surgió de la sencilla pero aterradora lógica del *An Essay on the Principle of Population*, publicado en 1798 por Thomas Malthus[75]. En este libro se sostiene que la tasa natural del crecimiento de la población humana es geométrica y siempre excede la tasa aritmética del aumento en la producción de comida. Este escrito también afirma que las hambrunas, las enfermedades y las guerras eran las únicas vías para mantener el equilibrio entre la población y el abastecimiento de comida. Su mensaje fue profundamente deprimente, y fue, después de leer el famoso ensayo de Malthus, que el escritor Thomas Carlyle denominó al campo emergente de la economía como “la ciencia funesta” [23].

Sólo Malthus desbarató la visión optimista de inevitable prosperidad de Adam Smith. Para él, la “ley de hierro” de la economía significaba lucha y carencia y acabaría -¿ha acabado?- en el desastre. Las implicaciones de los recursos limitados y los rápidos aumentos de la población eran ineludibles: “Impedir el ciclo de sufrimiento está más allá de los poderes humanos” [75]. La naturaleza había condenado a la humanidad a un destino cruel.

Para 1760, el rápido aumento de la productividad agrícola de Inglaterra había comenzado a desacelerarse, justo cuando empezaba la explosión demográfica de la época. Estos factores fundamentales (junto con los gastos y el desastre de las Guerras Napoleónicas y varias cosechas pobres) provocaron un alza sostenida en el precio del pan. Como se describe de manera inolvidable en las novelas de Dickens, las calles de las ciudades de Inglaterra en los primeros años del siglo XIX estaban atascadas de indigentes desamparados y los hechos palpables de la vida cotidiana parecían verificar los planteamientos de Malthus.

Dentro de la miseria generalizada, ningún aspecto de la sociedad inglesa era más estremecedor que aquél de la vida de las fábricas que habían surgido durante el primer auge industrial del mundo. Las condiciones de trabajo siempre habían sido duras. Mucho antes del advenimiento del poder de la máquina, los trabajadores que usaban los telares de mano aguantaban largas horas por apenas un salario de subsistencia. Pero mientras las primeras décadas del siglo XIX pasaban, las condiciones se deterioraban constantemente.

Entre los que se oponían más enérgicamente a reformar este sistema se contaban los economistas de Inglaterra. Indiferentes a los hechos horribles de la vida industrial, proponían la libertad absoluta de contratación entre patrones y empleados. Los economistas prestigiosos también resistían la reforma de las *Leyes de Pobreza* aprobadas en 1834. Ellos adoptaron la posición de que mayores niveles de apoyo gubernamental para los pobres desempleados sólo conducirían a más bocas que alimentar y peor hambre en el futuro. El principio de la población era tan determinante como la ley de la gravitación de Newton.

¿Para qué tratar de evitar lo inevitable?

En el momento en el que la representación determinista era aceptada de manera prácticamente universal dentro de la cultura occidental como la representación de la Naturaleza “científicamente comprobada”, aparecieron las primeras fisuras en el sólido edificio de la racionalidad clásica. Por una parte, la reflexión schopenhaueriana que trataba de resolver, por caminos distintos a los transitados desde Kant, la dicotomía existente entre sujeto y objeto, con la pretensión de fundar un nuevo concepto de realidad. Por otro lado, se ecentuaba la problemática relación entre el electromagnetismo y la representación mecanicista derivada del sistema newtoniano, sobre la que se

había asentado la representación determinista.

Sin embargo, estas fisuras no cuestionaban todavía los pilares básicos de la racionalidad clásica, la crisis de los mismos tardaría aún en llegar. Prueba de ello es el papel asignado, dentro de los cánones clásicos, en el pensamiento de Schopenhauer sobre el principio de causalidad estricta. Lo anterior aunado a las dificultades teóricas de Maxwell y Lorenz para abandonar la representación mecanicista, a pesar de la evidencia de su incompatibilidad con los fundamentos teóricos y prácticos del electromagnetismo.

Bajo este panorama y a pesar de las precarias condiciones laborales de los trabajadores de la industria, el programa de la Ilustración parecía plenamente realizado ante los ojos de la burguesía europea, que sobrepuesta del sobresalto de las revoluciones de 1848 consolidaba su poder político, afianzado ya su poderío económico. La publicación en 1849 del *Cours de philosophie positive* de Augusto Comte[24] constituía la expresión del espíritu de la época.

Los avances de la ciencia y el progreso tecnológico asociado a la nueva clase política parecían augurar un prometedor porvenir. Ésta confianza en el futuro, esa fe en el progreso, que descansaba en los logros alcanzados por la razón, proporcionaba a las clases dirigentes del viejo continente la firme convicción de estar llamadas a desempeñar una misión histórica, ahora ratificada sobre “bases científicas”, de la superioridad de la raza blanca y de la civilización por ella engendrada, la cual serviría de cobertura ideológica a la expansión de los imperios europeos.

El linaje dominante en la profesión de la economía moderna puede ser trazado desde lo que ha sido llamado economía “clásica”, la cual fue desarrollada durante los siglos XIX y XX. Definitoria de la esta corriente de pensamiento es que concibe el valor de cambio como íntimamente ligado al

trabajo expandido en la producción de bienes, mientras que el precio realizado puede también reflejar accidentes temporales de variaciones del mercado o disturbios exógenos.

Si bien desde sus inicios el concepto de energía consiguió la consolidación de fenómenos físicos separados, como el calor, la luz, el magnetismo, la electricidad y la mecánica, para entonces ya muy desarrollada, muy pronto se estableció que el formalismo de la energía podría incluir bajo las leyes de la física a la ciencia de la vida misma, y de ahí precedería a incluir a la economía, la psicología, la sociología e incluso a la estética, unificando con ello al conjunto de las ciencias.

Cualquiera que intentara esforzarse en busca de un estatus científico debía confrontar a este movimiento energético. Curiosamente, esto también explica los orígenes de la ortodoxia moderna de la economía neoclásica. En las décadas de 1870 y 1880, una amplia gama de individuos en diferentes contextos europeos proponían matematizar la economía mediante un modelo tomado de la física de la energía, cambiando los nombres de las variables relevantes, transformando el espacio en espacio de mercancías y las fuerzas en precios, relacionando cada tema económico con la noción mecánica de equilibrio.

Así, la gran expansión económica que se experimentó -y que iría pareja a una polarización de la riqueza- impuso una sensación generalizada de bienestar entre la población. Este crecimiento daba la impresión de ser sostenida y carente de límites en su desarrollo. Desde luego, esta ilusión era atribuida al desarrollo teórico asociado al nuevo modelo tomado de la física. En esos años era digno de completa confianza, tanto de la comunidad ilustrada como de la población, todo aquello que fuera sustentado en leyes y relaciones causales.

1.2. La economía: una condensación de dislocaciones

Al mismo tiempo que se constataba un gran avance científico y tecnológico, la ciencia se integraba cada vez más en el proceso de la producción. En este sentido, fue básica la figura del ingeniero como personaje que aúna el saber científico con la práctica artesanal. Para este propósito, se hizo indispensable la creación de escuelas para la formación de técnicos, lo cual conllevó la mejora de los medios de comunicación y transporte. El ferrocarril, el buque de vapor, el telégrafo y la guerra aparecieron en la vida diaria del hombre del siglo XIX.

Sin embargo, hubo unas transformaciones notorias en los rubros sociales y económicos. La complejidad en la comprensión de estos aspectos reside en estudiar cómo, con qué ritmo y con qué dificultades un país, colosal como Rusia, al margen del sistema liberal, pasa de una estructura dominada por la nobleza terrateniente -que tiene bajo sí a la inmensa mayoría de siervos- a un pueblo agrícola y obrero encuadrado en una creciente industria. En comprender de que manera, precisamente en esta época, se da la primera etapa de planificación económica, que supone no dejar el desarrollo económico totalmente en manos del libre mercado. Sin embargo, en esta primera experiencia del capitalismo concurrencial, la economía interior de cada país no se llevaría, en líneas generales, por los Estados -aunque ahora comienzan a intervenir más en la vida económica y social- sino que serán las propias empresas privadas las que busquen nuevas fórmulas de planificación.

La tendencia más marcada en los países desarrollados será entonces intentar evitar la competencia desmedida, a través de la concentración, lo que implicó una tendencia al oligopolio. La misma estructura empresarial em-

1.2. LA ECONOMÍA: UNA CONDENSACIÓN DE DISLOCACIONES 13

pujaba en este sentido: equipos cada vez más costosos, organización técnica más complicada, desembolsos considerables en mano de obra y materias primas. Desde finales de los años setenta, los propios industriales se esfuerzan por integrarse como remedio contra la crisis. Estas formas de concentración se pueden resumir en dos:

1. Verticales: Integración en una misma empresa de todas las fases de producción, desde la obtención de materia prima a la venta. La tendencia era llegar a ser un monopolio. Triunfó, sobre todo, en metalurgia: Krupp, Schneider, Skoda, Thyssen, Ford... Poseían minas de carbón, altos hornos, flotas de transporte, fábricas de construcción metálica y maquinaria, etc. Las ventajas de esta integración fueron normalmente grandes. Se economizó en todas las fases, lo que permitió el descenso del coste final.
2. Horizontales: Control de una fase de producción, mediante la asociación de productores, para evitar la competencia y presionar sobre el mercado para obtener mayores beneficios. Adoptaron también formas de oligopolios o monopolios.

Frecuentemente se dió la combinación de concentraciones horizontales y verticales. La mayor parte lo fueron a medio o largo plazo. Las empresas mantuvieron una autonomía, pero sobre ellas se superpuso una administración común. Estos fueron los denominados *cárteles* en Alemania o *pool* en los países de habla inglesa. Incluso de esta manera se concentraron las actividades comerciales del crimen organizado. Su finalidad era el reparto de la producción, fijar precios o dividirse los mercados. Es el caso, por ejemplo, del cártel de la hojalata fundado en Alemania en 1896. Antes de la

Gran Guerra en este último país había unos 600 cárteles. Característica del capitalismo americano fue el llamado *trust* o monopolio.

Por ejemplo, la Standard Oil, fundada por Rockefeller, que en 1883 tenía prácticamente el control del petróleo norteamericano, fue el primero de ellos con participación importante en sociedades de diversos países. Esta nueva organización industrial, el desarrollo de la racionalización del trabajo, las innovaciones técnicas, etc., consiguieron que el capitalismo ganara la batalla de la producción, pero también dieron lugar -en múltiples ocasiones- al paro tecnológico, en lo que corresponde a la masa obrera.

Como contrapartida, se elevaron los salarios de la mayoría de la clase obrera -desde la década de 1840 a principios del siglo XX se duplicó el salario real en Francia y Gran Bretaña- permitiendo un mayor consumo y, por tanto, una mayor producción.

Este fenómeno explica la alteración de los programas de lucha obrera llamada *revisionismo* a finales del siglo XIX, desequilibrando definitivamente la agricultura y la industria, en beneficio de ésta. La agricultura comenzó a tener un carácter intensivo, al igual que la ganadería. En 1883 apareció el refrigerador, motor del desarrollo de países ganaderos tales como Argentina, Paraguay, Nueva Zelanda y Australia, con el fin de abastecer las zonas urbanas de los países industrializados.

Entre los principales efectos de las transformaciones económicas del período hay que llamar la atención sobre las que se produjeron en la sociedad, si bien se puede observar que esos cambios sociales modificaron o ampliaron a su vez los económicos en un juego interactivo. Entre los posibles aspectos que aparecen en relación con la segunda revolución industrial, se destacan los movimientos obreros como forma de expresión de las clases trabajadoras, surgidas de la industrialización y la liberación de los siervos en Rusia.

1.2. LA ECONOMÍA: UNA CONDENSACIÓN DE DISLOCACIONES 15

Por diversas influencias tales como crecimiento económico, movimiento obrero derivado de su fuerza numérica, elevación cultural de los asalariados y especialización, así como la mejora en la productividad, las condiciones materiales de la mayoría de los trabajadores de los países occidentales - y aún más las de los países industrializados- mejoraron en esta época. Se redujo el horario medio de trabajo. Inglaterra se mantuvo a la cabeza. La semana de sesenta horas fue reemplazada por la de cincuenta y cuatro en metalurgia en 1871. Se impone en 1874 la de cincuenta y dos horas y media en la construcción y hacia 1890 se habrá generalizado -en casi todas las ramas- la "semana inglesa". En los demás países occidentales, la semana laboral ordinaria era de sesenta horas -sólo los mineros tenían un horario más corto- hasta 1913 en que se generaliza la de cincuenta y cuatro horas.

A finales de siglo, el trabajo de los niños se limita en casi todos los países a la edad de 12-14 años. En términos generales, sube el salario, nominal y real, entre 1870 y 1900. También se constata la baja de salarios reales en ciertos momentos que coinciden con mayor índice de paro, motivado por varias razones: coyuntural, derivado de las crisis; técnico, por la introducción de maquinaria; estacional, en agricultura y algunos servicios.

Con la aparición de *The Origin of Species*[26] de Darwin en 1859 y de *The Origin of the Family, the private property, and the State*[37] de Federico Engels en 1884, se marca la culminación de este proceso, que caracteriza a la civilización occidental desde la aparición de la época moderna. Determinismo biológico, social, económico y hasta cultural, completan el recorrido intelectual de occidente iniciado con la revolución newtoniana.

Con todas estas transformaciones e innovaciones en las formas productivas, aunque de manera muy tímida, en algunos países el Estado comenzó a intervenir. Sobre todo en lo referente a seguros sociales -paro, enfermedad,

accidentes, jubilación. La más adelantada en esta cuestión fue Alemania, en la época de Bismarck, quién trató de atraerse votos de los obreros arrebatando las reivindicaciones sociales de los partidos de clase y sindicatos e implantando mejoras desde el Estado. La mayor parte de los países occidentales imitaron a Alemania en el seguro de accidentes y enfermedad. Francia e Inglaterra fueron muy retrasadas en esta cuestión, debido sobre todo a la tradición liberal que repugnaba la injerencia del Estado en los asuntos laborales.

En resumen, se puede decir que indudablemente se lograron mejoras, pero estas fueron insuficientes, temporales y muy sensibles a las innovaciones productivas y de intercambio. Continuaba la sujeción del obrero al patrón, pues el contrato laboral individual, cuando lo había, y la escasa o nula legislación laboral colocaba al trabajador en condiciones de inferioridad respecto al empresario. Los problemas que plantea el capitalismo de la segunda revolución industrial serían respondidos más tarde por un amplio movimiento obrero que se articularía, especialmente, en torno al socialismo y tendría tres corrientes fundamentales: el laborismo inglés, el socialismo de estado en Alemania y el Marxismo, que, a su vez, adoptarían diversas formas.

Menor importancia tendría, en la mayoría de los países, el anarquismo y el sindicalismo cristiano, los cuales participaban efectivamente en la política nacional de los principales países. A pesar de los enfrentamientos internos, muchas de estas fuerzas sociales se organizarán en asociaciones internacionales de significación desigual con el paso de los años.

Pero ¿todo esto debe ser así? ¿se encuentran las relaciones de intercambio determinadas previamente? ¿son óptimos los equilibrios que busca la economía neoclásica? ¿son sostenibles? ¿sustentables? o ¿es que todo for-

ma parte de algo más grande fundado en la dominación y las relaciones de poder?

Parece pues, que el desarrollo de la teoría económica actual, al igual que muchas otras disciplinas científicas - “duras” o no, no “sólo atraviesa” por un mal momento del que luego saldrá fortalecida. Parece que en realidad esta disciplina se encuentra en zona crítica o al borde del caos, es decir, bastante susceptible de cambiar de dirección, dando lugar a nuevas propuestas más acordes con nuestro momento histórico y que no sirvan de manera rebuscada al sustento “científico” de los grupos que detentan el poder.

1.3. El indeterminismo humano

Cuando la Harvard Business School fue fundada, hace ya casi un siglo, el presidente A. Lawrence Lowell describió a los negocios como “la más vieja de las artes, la más nueva de las profesiones”. En el libro de texto dirigido a la formación de estudiantes de economía de Paul A. Samuelson se lee en el primer párrafo de la introducción “...las mismas palabras [las de A. Lawrence] pueden usarse para describir a la economía política: la más vieja de las artes, la más nueva de las ciencias -de hecho, la reina de las ciencias sociales” [95].

Dentro del marco conceptual y de la formulación de atributos que puedan ser caracterizados en diferentes escalas, Germinal Cocho propone que, tanto los seres vivos como las sociedades, pueden entenderse como “estructuras disipativas o sistemas abiertos lejos del equilibrio termodinámico” [25]. Tiempo después se fue extendiendo la idea de cómo los conceptos de la física podían ser utilizados en el estudio de los organismos vivos o de los sistemas sociales.

Casi al mismo tiempo, en la *Université Libre des Bruxelles*, Ilya Prigogine[?] comenzaba a aplicar sus métodos de investigación -el análisis de la física de reacciones químicas al estudio lejos del equilibrio- al estudio del comportamiento social de las termitas y discípulos suyos lo extenderían poco después a la simulación del desarrollo económico regional de sociedades humanas.

La idea anterior es posible resumirla así: “las posibilidades de matematizar las ciencias de lo humano radican en identificar a los sistemas sociales como sistemas complejos”, porque éstos, como lo señala Octavio Miramontes “están formados por un conjunto grande de componentes individuales que [interactúan] entre sí y pueden modificar sus estados internos como producto de tales interacciones. Estos sistemas pueden ser estructuralmente simples, aunque tal simplicidad no impide que exhiban comportamientos dinámicos diversos y no triviales” [88].

Los sistemas complejos pueden situarse en regímenes críticos caracterizados por la presencia de fluctuaciones espaciales y temporales en todas las escalas posibles. Esta situación de criticalidad puede alcanzarse de manera espontánea y sin la intervención de factores o fuerzas externas al sistema, se habla entonces de un proceso autoorganizado. El proceso de interacciones puede generar comportamientos colectivos y globales. Es decir, conductas que no están definidas en los elementos individuales pero [que] emergen como un proceso colectivo y no pueden ser reducidas ni explicadas tomando aisladamente los elementos constituyentes.

Una de las características de los seres humanos más extensamente discutidas en la literatura que aborda los problemas conceptuales de su estudio, ya sea a nivel colectivo o individual, es su falta de determinismo. El que las reacciones y la conducta de un individuo sean no deterministas no representa

en sí ningún problema, si lo consideramos una propiedad de nuestra descripción, más que una propiedad ontológica del sistema examinado o descrito. Y en efecto, como menciona Luis de la Peña “el que el comportamiento de un sistema físico o de cualquier otra índole sea descrito como tal [de manera no determinista] no significa sino que el cúmulo de factores que determinan detalladamente su comportamiento ha sido dejado a un lado al separar, conceptualmente, el modelo que se discute con una parte de su entorno” [65].

Para ilustrar esta idea, considere un envase cerrado que contiene únicamente algún gas, y que éste se encuentra a una temperatura fija. Se sabe bien que existen leyes relativamente simples que permiten determinar la presión del gas en términos del volumen y la temperatura. Como ambos son fijos, también la presión es fija y todo “parece” estar bien determinado. Pero en realidad no lo está, pues bastaría con preguntar con que velocidad se mueve una cierta partícula -escogida arbitrariamente de entre los miles de millones que se encuentran en el envase- para saber que no se posee información alguna para contestar: la velocidad puede ser prácticamente cualquiera.

Lo que las “simples” leyes de la termodinámica permiten determinar con precisión es la velocidad promedio de las partículas o la velocidad más probable, y otras cantidades como éstas. La descripción termodinámica es global, no entra en los detalles del movimiento de cada elemento del sistema considerado, sino que contempla sus propiedades estadísticas. La clave en este asunto es que, al reconocer la imposibilidad de predecir el comportamiento individual de una persona, en prácticamente cualquier actividad, digamos como agente económico que decide su propio consumo, se debe desarrollar una teoría que “capte” las propiedades relevantes de los agentes económicos con hipótesis menos restrictivas y metáforas más adecuadas.

1.4. La crisis del paradigma dominante

En la escala astronómica, el tiempo y el espacio de Newton fueron relativizados por Albert Einstein y en la atómica, cuantizados. Cada vez que ha surgido un nuevo enfoque que contradice a la versión ortodoxa y atenta contra el establishment de alguna rama de la ciencia, hay resistencia y respuesta ante la crisis del paradigma dominante, como bien lo señala Boaventura de Sousa en *Un discurso sobre las ciencias*[102]:

La cuarta condición teórica de la crisis... proviene de los avances del conocimiento en microfísica, química y biología durante los últimos veinte años. Permítaseme citar, a manera de ejemplo, los descubrimientos de Ilya Prigogine. Su teoría de las estructuras disipativas y su principio "del orden mediante fluctuaciones" estableció que, en los sistemas que funcionan lejos del equilibrio, la evolución se explica por fluctuaciones de energía que, en ciertos momentos no completamente predecibles, espontáneamente generan reacciones que, a su vez, mediante mecanismos no lineales, presionan al sistema más allá de su máximo límite de desequilibrio. La situación de bifurcación, es decir, el punto crítico en el cuál la mínima fluctuación puede llevar a un nuevo estado, representa la potencialidad de los sistemas para ser atraídos hacia un nuevo estado de menor entropía. De este modo, la irreversibilidad de los sistemas abiertos significa que son producto de su historia.

Desde entonces y hasta ahora, la teoría económica clásica y todos sus esfuerzos y desarrollo han devenido el mismo dogma: la economía de mercado con equilibrio mecánico. Además, su visión del mundo y sus opiniones se han seguido al pie de la letra casi siempre con el fracaso como resultante. El hecho de tener el reconocimiento social garantizado y su incorporación a los organismos del poder constituido provocan que, consciente o inconsciente-

mente, extrapolen los métodos del reduccionismo para dar soporte ideológico al *status quo* sin percatarse de las limitaciones de su herramienta conceptual y otorgando predicciones cuantitativas sin siquiera describir adecuadamente la parte cualitativa de los fenómenos económicos.

En general, esta actitud ha provocado las grandes oscilaciones y el descrédito como actitud de la sociedad ante la ciencia. Aunque a lo largo de la historia humana ésta se ha movido entre distintas formas de racionalismo y romanticismo: “desde la confianza o la veneración complacientes, en un extremo de las oscilaciones, al rechazo total y la añoranza por un pasado míticamente ubicado en una era anterior a la edad de la razón, en el otro” [65]. Como es natural suponer, esta desconfianza se da con mayor intensidad en todas las ciencias sociales, en particular en la Economía, ya que la implementación de “resultados teóricos” ha reforzado el descontento social debido a las desigualdades económicas que imperan no sólo en la población, sino entre la comunidad mundial.

Aún así y ante la evidente necesidad de desarrollar una nueva teoría, existe una enorme resistencia para dar este paso, la respuesta a esto tal vez sea porque esto implica la necesidad de revisar preconcepciones y metáforas utilizadas. REvisión que muy posiblemente conlleve como resultado prácticas que contradigan a las ya antiguamente establecidas conforme se van creando los conceptos apropiados para entender, describir y relacionar los fenómenos bajo nuevos anteojos.

Este tipo de trabajo, el de la construcción de la base conceptual de una nueva teoría, normalmente implica una confrontación de visiones. A lo largo del camino, suelen presentarse fuertes desacuerdos y resistencias a la aceptación de las nuevas ideas antes de quedar establecido un esqueleto conceptual más o menos completo y coherente que sirva de soporte para la

nueva teoría. El presente desarrollo no será una excepción y sin duda conducirá a esquemas conceptuales discrepantes por parte de la familia grande -y dominante- de los investigadores económicos.

En 1956, Nikita Krushev, el entonces dirigente de la Unión Soviética, profirió su famosa frase: *os enterraremos*[71]. Lo que pretendía decir era que, en los próximos años, el comunismo aventajaría económicamente al capitalismo. Desde luego, la sentencia llevaba consigo la amenaza de una derrota militar y resonó en todo el mundo. Sin embargo, eran pocos los que en aquella época llegaban siquiera a sospechar la manera en que una revolución en el sistema occidental de creación de riqueza transformaría el equilibrio militar mundial y la naturaleza de la propia guerra.

Lo que Krushev -como la mayoría de los norteamericanos- ignoraba era que 1956 fue también el primer año en que los empleados administrativos y de servicios superaron en Estados Unidos a los obreros fabriles, primer indicio de que comenzaba a desaparecer la economía de chimeneas de la segunda ola y nacía una nueva economía de la tercera ola¹.

Esto nos conduce a pensar en la teoría económica como un buen ejemplo de un caso no trivial en el cual los supuestos ontológicos que subyacen a los modelos matemáticos son modelos matemáticos por sí mismos o, para decirlo más precisamente, son metáforas matemáticas. Una metáfora matemática básica para el modelo clásico de mercado es el de equilibrio mecánico. La idea básica de dicho modelo es que al provocar pequeñas variaciones en el sistema sobre su punto de equilibrio se producen “fuerzas” que tratan de regresar al sistema a su estado de equilibrio.

¹Para una gran exposición sobre las olas del conocimiento consulte [87]

En algún sentido “la mano invisible” del mercado en el modelo neoclásico es equivalente a fuerzas mecánicas, por lo que la economía es considerada como un sistema dinámico en donde la estructura matemática de los modelos económicos es representada por un sistema de ecuaciones diferenciales y el tiempo juega un papel clave.

En los modelos mecánicos, el equilibrio es considerado como un estado en el cuál las fuerzas aplicadas al sistema se compensan una con otra y la energía potencial alcanza su extremo. El estado de equilibrio termodinámico se caracteriza por la anulación y compensación de flujos de intercambio y la homogeneidad espacial de los parámetros que caracterizan el sistema que ya no dependen del tiempo, es decir, cuando no se observa ningún cambio en sus propiedades termodinámicas a lo largo del tiempo.

En consecuencia, para aplicar la metáfora mecánica del equilibrio en la economía, algunas analogías de las nociones físicas son requeridas. Como muchos otros modelos, éste también hace uso de conceptos de otras disciplinas por lo que la crítica no apunta ahí, lo que sucede es que tal conceptualización no es inofensiva del todo: esta implica que el sistema, teniendo una ligera perturbación de su punto de equilibrio, eventualmente va a regresar a éste sin importar cuanto se haya alejado, extrapolación bastante alejada de la realidad.

A pesar de todo el desarrollo que se ha concebido alrededor de las dinámicas del mercado, la economía neoclásica heredó por completo el enfoque clásico. Aquí se encuentran las raíces de las ideas sobre como revitalizar la economía vía estabilización financiera, la esencia del enfoque monetarista para activar la economía. De acuerdo con ésta corriente, en época de crisis sería suficiente incrementar los precios preservando el volumen de dinero para que el sistema volviera inmediatamente al equilibrio. La imple-

mentación de *terapias de shock* muestra como esto no siempre es el caso. No obstante, la práctica puede extraviarnos. Para sacar a la luz las razones de por qué los sistemas económicos se “rehúsan” a volver al equilibrio tal como lo hacen las predicciones de la teoría ortodoxa, se tiene que hacer un profundo análisis, antes que todo, de la metáfora matemática usada.

Entonces, con el fin anteriores es necesario plantear la siguiente pregunta fundamental:

¿Es el equilibrio mecánico una metáfora adecuada y suficiente para describir a aquel de los sistemas económicos?

Capítulo 2

Sistemas termoeconómicos

Los cuervos afirman que un sólo cuervo podría destruir los cielos. Indudablemente, así es, pero el hecho no prueba nada contra los cielos, porque los cielos no significan otra cosa que imposibilidad de cuervos.

-Franz Kafka

Aphorismen-Zettelkonvolut

En este capítulo se introducen las variables claves para el desarrollo del modelo termoeconómico. Se inicia con la descripción matemática de variables tales como energía monetaria, entropía, información y temperatura económica. Una vez establecido el lenguaje y la notación termodinámica se plantean diferentes estructuras de mercado y se deduce el comportamiento cualitativo de la distribución del ingreso en periodos cortos de tiempo. Más adelante se considera la interacción entre sistemas con distintas restricciones institucionales y se ilustran los resultados con algunos casos de transiciones reales recientes. En la última sección, se permite la migración de agentes entre sistemas y se plantea que los salarios son una propiedad que emerge como el estado más probable de acuerdo a las cotas establecidas en los salarios

mínimos y máximos y la distribución del ingreso. Asimismo, se obtienen probabilidades a partir de las funciones de partición y los potenciales de migración.

2.1. Variables termoeconómicas

Una breve exploración sobre el problema que constituye la construcción de una teoría económica -en relación con la naturaleza de sus proposiciones y supuestos- señala la punta del iceberg de un problema específico y profundo: el realismo de sus supuestos y la verificación de sus teorías.

La discusión acerca de si la economía es o no una ciencia deductiva datan, cuando menos, de la época J.S. Mill. La siguiente afirmación muestra cómo es la discusión entre los profesionales de esta área: “Es vano esperar que pueda llegarse a la verdad, en la economía política o en cualquier otra rama de las ciencias sociales, mirando los hechos de lo concreto, con toda la complejidad de que la naturaleza los ha rodeado, y empeñarse en extraer una ley general mediante un proceso de inducción por la comparación de detalles; no queda otro método que el *a priori*, o la especulación abstracta”.

En física existen distintos enfoques para la conceptualización de la complejidad de los fenómenos. En particular, la forma en que se concibe a los sistemas económicos es como sistemas abiertos cuyas características macroscópicas corresponden al comportamiento estadístico resultante de las propiedades y dinámicas de interacción de sus elementos constituyentes y cuyos componentes no se pueden describir en detalle pero son accesibles como conjuntos o subconjuntos.

La termodinámica se ocupa de la energía y sus transformaciones en los sistemas desde un punto de vista macroscópico. Sus leyes son restricciones

generales que la naturaleza impone en todas esas transformaciones [43] y es de gran generalidad, aplicable a sistemas de estructura muy elaborada con todas las formas y expresiones de propiedades complejas.

Puesto que para modelar variables económicas es fundamental la información proveniente de las mediciones, conceptualmente estamos interesados en magnitudes medibles, por lo que es conveniente idealizar y simplificar algunas características de los sistemas económicos. Cuando el contenido esencial haya sido desarrollado, será “relativamente sencillo” extender el análisis a sistemas con estructuras más complejas. Una cuestión básica consiste en señalar que las restricciones en los sistemas considerados no son limitaciones básicas sobre la generalidad de la teoría y que las mismas se adoptan meramente para la simplificación expositiva. En este sentido, los resultados obtenidos son válidos temporalmente siempre y cuando la inflación no sea un elemento determinante del consumo y el crédito no sea el motor del sistema económico en cuestión.

Así, el concepto más importante será el de sistema, que puede ser cualquier región o delimitación natural o artificial, la cual ha sido seleccionada para estudiarla y aislarla -conceptualmente- del resto del universo. Así, lo que no es el sistema se convierte entonces en el entorno del sistema. En adelante, se entenderá por *sistema económico*, o *medio interior de una economía*, al conjunto delimitado por una frontera real o ficticia, donde se estipulan reglas, reguladores y agentes que intercambian bienes y servicios con asignaciones de valor en unidades monetarias. El resto del universo será el medio exterior. La distinción entre sistema y entorno es, por supuesto, arbitraria: el sistema es lo que el observador ha escogido para estudiar.

El sistema y su entorno forman el universo. La envoltura imaginaria que encierra un sistema y lo separa de sus inmediaciones -entorno- lo llamare-

mos *frontera económica* del sistema y puede pensarse que tiene propiedades especiales que sirven para: a) aislar el sistema de su entorno, o b) permitir la interacción de un modo específico entre el sistema y su ambiente. Cabe señalar que esta distinción es totalmente natural y que, de hecho, toda frontera económica se establece por diferenciación de precios, barreras arancelarias, divisas, libre distribución de servicios, bienes o mercancías o simplemente el libre tránsito, por lo que la identificación de la misma se basa en la observación de los principios reguladores entre los distintos agentes económicos.

Si la frontera permite la interacción entre el sistema y su entorno, tal interacción se realiza a través de los canales existentes los cuales pueden ser no específicos para interacciones fundamentales o muy específicos para fines de intercambio.

Los sistemas económicos no pueden ser aislados naturalmente, sin embargo, a cambio de un costo social, cultural, energético y de oportunidades de variabilidad de todas las facetas y expresiones humanas -algunas incluso de corte puramente biológico- algunas naciones con tendencias socialistas y/o comunistas pretendieron permanecer aisladas, careciendo de éxito en un corto periodo de prueba. En la actualidad, algunas economías regionales se encuentran cuasaisladas, ya sea por decisión colectiva, individual o, simplemente por restricciones exógenas, para intercambiar materias primas, recursos humanos, intelectuales o energéticos con otros sistemas e incluso con su entorno. Se puede decir que este tipo de sociedades poseen economías cerradas debido a que pueden intercambiar distintas clases de energía con su entorno, pero en ningún caso materia.

Alternativamente, un sistema abierto es aquel que puede intercambiar materia y energía con su entorno u otros sistemas. En la actualidad, todas

las economías formalmente reconocidas como de Estado, son abiertas con restricciones reguladas de intercambio. La tendencia global va en dirección a hacer que cada uno de estos subsistemas esté cada vez más integrado en el gran sistema cerrado que la economía mundial representa.

En general, en todo sistema es posible discernir una estructura local, de modo que es factible establecer *a priori* las características microscópicas propias de cada una de los elementos constitutivos del mismo y las cualidades macroscópicas correspondientes al comportamiento estadístico de dichos elementos. Tal es el funcionamiento de las teorías científicas más sólidas: la geofísica, la astrofísica, la física de la atmósfera, la termodinámica y, por supuesto, la mecánica estadística, se basan en las propiedades estadísticas de su objeto de estudio.

Adicionalmente, los fenómenos económicos comparten otra peculiaridad con estos campos de la física: no es posible hacer experimentos y sólo se posee una realización del álgebra de eventos o manifestaciones del fenómeno, en el cual, además, las condiciones y restricciones del entorno difícilmente se repetirán con absoluta precisión volviéndose imposibles de reproducir en todos sus aspectos[78].

Un sistema termodinámico es macroscópico por definición, es decir, el mismo no puede ser descrito con detalle en sus características microscópicas -entendidas como las propiedades de los elementos constitutivos- y sólo son accesibles sus características estadísticas. El estado de un sistema representa la totalidad de las propiedades macroscópicas asociadas con el mismo. Así, cualquier fenómeno que muestre un conjunto de variables identificables puede caracterizarse por un estado termodinámico, ya sea que esté o no en equilibrio[44]. Se dice que ocurre una transformación si, como mínimo, cambia de valor una variable de estado del sistema a lo largo del tiempo. Si el

estado inicial es distinto del estado final, la transformación es abierta, de lo contrario se dice que es cerrada. Si el estado final es muy próximo al inicial, la transformación es infinitesimal.

Las propiedades emergentes de un sistema vienen dadas por los atributos macroscópicos observables del mismo, mediante la observación directa o mediante algún instrumento de medida. Se dice que un sistema se encuentra en un atractor estable cuando no se observa ningún cambio en ciertas magnitudes a lo largo del tiempo. Los estados en los que se encuentra una economía pueden ser o no estacionarios, por definición, un proceso se encuentra en estado estacionario si el valor que toman sus variables observables -o las probabilidades de tomar dicho valor- son independientes del tiempo.

Cuando un sistema se encuentra en un atractor estable, los flujos de intercambio se compensan y la homogeneidad de los parámetros que caracterizan al sistema se vuelven independientes del tiempo, en este caso, se puede decir que el sistema se encuentra en equilibrio. Un estado de no equilibrio es un estado con intercambios netos de masa o energía cuyos parámetros característicos dependen, usualmente, de la posición y del tiempo. Si no dependen de este último, necesitan la intervención del entorno para mantener sus valores, a dicho valor se le conoce como estado estacionario fuera del equilibrio.

Las intensivas son aquellas

Un proceso es reversible si su dirección puede invertirse en cualquier punto en el tiempo mediante un cambio infinitesimal en las condiciones externas. Para los procesos reversibles es posible basar los cálculos en las propiedades del sistema con independencia de los del entorno. En los procesos reversibles, el sistema nunca se desplaza más que diferencialmente de su equilibrio interno o de su equilibrio con su entorno. Si un proceso no cumple

estas condiciones se llama irreversible.

Se llamará *Sistema Financiero de Control* (SIFIC) a un sistema cuyas valores no varían ni en el espacio ni en el tiempo, sin importar cuales sean los intercambios efectuados entre el sistema y el entorno. Así, SIFIC es un sistema ideal que permanece en una fase idéntica a si misma de manera indefinida. En el contexto económico, los valores de estos sistemas son establecidos por entidades regulatorias, estándares económicos y otras variables no controladas de manera endógena.

Lo anterior implica que:

1. Para todas las cantidades susceptibles de ser intercambiadas puede considerarse que el sistema tiene una capacidad ilimitada
2. Qué los intercambios se producen lentamente de forma que no se producen gradientes dentro del sistema.

De acuerdo con este concepto, cuando un sistema se encuentra en algún estado estacionario -incluso débilmente- no permanece ahí porque esté siendo afectado por fuerzas o manos invisibles, sino simplemente porque es el estado más probable del sistema de acuerdo a sus restricciones, el cual es compatible con la gran cantidad de elementos que lo conforman, incluyendo sus dinámicas propias.

Así como es importante reconocer que ciertas tendencias pueden ser revertidas. Es necesario aclarar que las transformaciones reversibles no existen. A este respecto, Montroll[72] sugirió en 1961 que “tendremos que jugar a juegos estadísticos para extraer características irreversibles -nivel macroscópico- de las ecuaciones dinámicas reversibles -nivel microscópico”. Es necesario remarcar que este enfoque puede referirse también a todo tipo de sistemas, por

tanto, las conclusiones obtenidas a través de él no se contraponen con otros enfoques -por ejemplo, los basados en la mecánica clásica. Pero, si el sistema es muy complejo, su comportamiento general es determinado por principios absolutamente diferentes, bastante distintos de aquellos de la teoría neoclásica.

La distinción en la descripción matemática de cómo el sistema cambia sus estados es fundamental. En términos de este enfoque, el sistema, en vez de evolucionar en el tiempo, simplemente cambia su posición en el espacio de los parámetros macroscópicos, permaneciendo sobre cierta superficie, la superficie de estados, representada por la ecuación de estados. El tiempo no es incluido dentro del juego de parámetros importantes para la descripción del equilibrio del sistema. La ecuación de estado es dada por las dependencias entre los diferenciales de los parámetros macroscópicos, para el cuál, cambiar uno o varios macro-parámetros del sistema es equivalente a simplemente “mover” el sistema sobre la superficie de estados.

En esencia, desde el punto de vista matemático, la investigación de la dinámica y los atractores en este modelo se puede “reducir” a un problema de topología diferencial de la superficie, descrita por la ecuación de estado. Como se puede apreciar, la metáfora del equilibrio difiere esencialmente de la mecánica. El tiempo no ocurre aquí de la misma manera que en la mecánica, es decir, como un parámetro interno del sistema: el parámetro que determina su dinámica, sino como uno externo.

De acuerdo con lo anterior, la idea del punto de equilibrio aparece completamente diferente, se difumina: se vuelve incluso inaceptable. Ya desde este punto se vuelve necesario formular nuevas ideas, plantear situaciones lejanas a la determinación de los valores de equilibrio resultantes de la metáfora mecánica. Aquí, valores estacionarios podrían significar no la existencia de

puntos singulares correspondientes a la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales o extremos de funciones potenciales, sino atractores con vecindades de dominio producto de desplazamientos a lo largo de la superficie de estado.

En lo que sigue se mostrará que existen bases más firmes para creer que el concepto de atractor -basado en la metáfora termodinámica- es frecuentemente más adecuado para la descripción de varios fenómenos económicos que la metáfora clásica.

Bajo algunas consideraciones adicionales sobre los sistemas termoeconómicos descritos por ecuaciones Pfaffianas, el principio de *Le Chatelieau* es aplicable, es decir, los sistemas exhibirán comportamientos de “obstrucción” a las influencias ejercidas sobre él como resultado de los cambios en los macro-parámetros externos. Cotidianamente, los sistemas económicos describen tal comportamiento bajo ciertas condiciones, es decir, presentan estabilidad estructural ante “pequeñas” perturbaciones. Por ejemplo, el incremento en los precios puede ser un incentivo para la producción con la intención de mantener el nivel de consumo. Si se intenta imponer un control total sobre los niveles de producción o consumo en una sociedad se puede provocar el proceso de corrupción de los cuerpos ejecutivos, que a su vez, disminuyan el efecto de dicho control.

Un importante descubrimiento del pasado fue el fenómeno de la homeostasis en física, algunas veces, la aparición de éste es un comportamiento razonable y puede ser explicado en lenguaje moderno a través de atractores resultantes de la dinámica de los agentes económicos: dentro del espacio de estados, hay algunos de ellos que son mucho más compatibles con la configuración del sistema que otros. Si los participantes del mercado entienden las restricciones, dirigen sus hábitos y estrategias de venta y consumo

hacia esa dirección y vuelven más probables aquellos estados compatibles, generando, adaptativamente, estados con características predominantes a nivel macroscópico, es decir, atractores.

La implicación de dichos procesos cuya fase terminal es la autoorganización y la emergencia de patrones de comercio y estacionariedad de las variables macroeconómicas procede de una sencilla premisa: para la mayor parte del tiempo, el sistema se encuentra en el estado más probable y se dice que emergen en el sistema atractores que rigen -o dirigen- la dinámica del mismo.

En el caso de la economía, esto podría interpretarse a la manera de Adam Smith: el sistema es dirigido por una “mano invisible”, en esto -al menos- hay que admitir su sensibilidad social, al mismo tiempo que se vuelve necesario hacer hincapié en que en los tiempos en que A. Smith se encontraba trabajando en su libro, los principios de la termodinámica no eran aún bien entendidos y el paradigma de la complejidad no era siquiera discernible entre el pensamiento y/o el lenguaje de los científicos de la época, por lo cuál la “mano invisible” fue interpretada precisamente en términos de una simple mano por aquellos de la metáfora mecánica. El modelo conceptual de A. Smith que identifica los intereses humanos con “fuerzas” del mercado otorga bases realmente serias para tal interpretación.

Para ilustrar esta idea, permítase considerar un “experimento imaginario” bastante cercano a lo que está detrás del concepto de eficiencia de la economía neoclásica. En general, Smith supone que un incremento en el precio de la mercancía se debe a un incremento en al menos uno de los componentes de la fijación del precio, es decir, la renta, el salario de los trabajadores o las ganancias, dando una señal a los actores o, si se prefiere, forzándolos a cambiar su comportamiento -para explotar más servicios, in-

crementar la oferta de empleos o para expandir la manufactura, y que este cambio en el comportamiento finalmente conduce a la reducción del precio.

Existe, de manera profunda, un problema epistemológico en el experimento imaginario de A. Smith: la única información inmediatamente accesible para los actores del mercado es el precio. Cualquiera que sea la situación que lo modifique, incrementándolo o disminuyéndolo, las razones de este cambio no son inmediatamente reveladas al observador. Es incluso, frecuentemente menos claro para el consumidor si los cambios en el precio se debieron a cambios en los factores de producción -puede ser también un aumento o caída del margen de ganancia- o si la razón fue un incremento en la demanda. Usualmente, dicha información es el secreto mejor guardado de los vendedores.

En estudios de los investigadores de la *Austrian School* se pueden encontrar serios argumentos a favor de la hipótesis de que la información en los componentes ocultos del precio disponible para los agentes del mercado es no completa. En otras palabras, lo anterior simplemente significa que no es posible comportarse en la forma en que el experimento imaginario describe. A *grosso modo*, éste experimento fue basado en falsas premisas. Esto requiere poner bajo duda la metáfora mecánica subyacente a los conceptos clásicos de la dinámica de mercado, i.e., la metáfora mecánica, por lo que la ontología del modelo económico clásico es, de hecho, discutible.

A pesar de sus vigorosas diatribas contra las ideas socialistas de regulación de la economía y adherencia a los principios de mercado, F. Hayek[55] ha negado los puntos de vista liberales sobre el papel del egoísmo en la economía de mercado. Hayek señala directamente que la economía de mercado es basada sobre la observación de estrictos principios morales, asegurando la supervivencia de la comunidad en competencia con otras comunidades y

que dichos principios contradicen directamente y de manera frecuente los intereses mercantiles egoístas tal y como propone A. Smith.

Por otro lado, M. Weber[100], en su famoso trabajo sobre el papel de la ética protestante en el génesis de la economía capitalista, desarrolla una postura similar. Weber muestra que la ética protestante -la escrupulosa honestidad y las intenciones de trabajar fuerte en el marco del capitalismo formado en el norte de Europa- son condiciones necesarias para el incremento de la riqueza. Los intereses de los miembros de una sociedad se ven satisfechos como el resultado de seguir las leyes morales de la sociedad como un todo. Esto contradice directamente la idea de A. Smith sobre el bienestar común como corolario resultante de la intención de los individuos de satisfacer sus intereses de manera egoísta.

En los modelos neo-clásicos del equilibrio mecánico construidos últimamente, como, por ejemplo, el propuesto por Arrow-Debreu-McKenzie[9], para probar la existencia del equilibrio, se debe suponer que los agentes económicos maximizan sus funciones de utilidad. Sin embargo, los argumentos sobre la disponibilidad de información incompleta por parte de los actores del mercado fueron ignorados.

Este postulado sobre la inevitabilidad de la información incompleta, parece ser una de las razones básicas de por qué los economistas de la Austrian School rechazan la aplicabilidad de los métodos matemáticos actuales en economía. Es claro que estos científicos no se encuentran insatisfechos con la matemática por sí misma, sino con la metáfora mecánica usada para construir modelos de equilibrio como una metáfora en la cuál, después de todo, la utilidad tiene el mismo papel que el potencial en los sistemas físicos clásicos.

Esta insatisfacción con tales modelos de equilibrio era, de algún modo,

no sólo discernible entre los oponentes de la economía matemática, sino también entre sus defensores. Más profundos desacuerdos se han establecido con la imposibilidad de considerar, en todos los casos, el exceso de demanda como una función continua del precio. Ejemplos controversiales son bien conocidos, como, por ejemplo, el trabajo de B. Arthur[12].

Uno puede, por supuesto, tratar de “mejorar” la teoría, manteniéndose en los confines de la metáfora mecánica y los dogmas liberales. Nosotros pensamos que si bien es cierto que los argumentos de la Austrian School son insuficientes para rechazar la aplicación de las matemáticas en la economía, si poseen las suficientes razones para cambiar la metáfora del equilibrio.

El concepto de mercado de F. Hayek, como un proceso de descubrimiento, enfatiza el papel clave de la información en la economía de mercado en abierta oposición a la prioridad de las inobservables funciones de utilidad de los modelos neo-clásicos, basados en el equilibrio mecánico.

Así, es de observarse que la información juega un papel crucial en cualquier teoría económica y que, en consecuencia, no puede ignorarse en la misma. Si se tiene en cuenta que la teoría matemática de la información es, en esencia, idéntica a la termodinámica, siempre que se identifica a la información con entropía negativa[45], se vuelve entonces posible tomar este concepto y darle un tratamiento formal.

La cantidad de información, recibida al momento de interacción del sujeto con un sistema, es medida por el logaritmo de la reducción relativa de oportunidades para hacer su elección antes de que ésta haya sido obtenida. Es fácil entender que dicha interpretación se relaciona directamente con la descripción del comportamiento de los actores del mercado, de esta manera, la entropía se vuelve un parámetro importante de las interacciones en el mercado.

De hecho, esta idea no es nueva, desde 1996 Benoit Mandelbrot[76] ha dado fórmulas explícitas para el cálculo de entropía en fenómenos financieros y desde entonces han sido expuestas varias formulaciones en este sentido. Sin embargo, hasta ahora, la idea de aplicar la noción de entropía al estudio de la economía fue realizada solamente para propósitos particulares (principalmente en relación a los problemas de transporte) y no con la intención de desarrollar toda una teoría, hasta el 2003, año en que V. Seergev publicó su trabajo realizado en el Instituto de Santa Fe[80], con el que sentaría las bases de esta nueva metáfora.

Ahora bien, el sólo concepto de entropía no es suficiente para construir toda la teoría termoeconómica, para este fin será necesario un espectro más completo de variables tales como temperatura del mercado, migración, dinero, etc.

2.2. Energía monetaria

La idea básica para el análisis de los sistemas económicos y las estructuras de mercado es descrito sobre dos niveles ontológicos: uno “macroscópico” y uno “microscópico”. Un estado macroscópico es caracterizado por una multitud de estados microscópicos, cuyo número es llamado el peso estadístico del estado macroscópico. Así, es natural pensar que el sistema permanecerá la mayor parte del tiempo en el estado más probable, es decir, en el estado con el mayor peso estadístico. Las condiciones de aplicabilidad de este enfoque puede ser formulado en términos muy generales, por supuesto, más allá del terreno de los sistemas físicos.

Considere el Sistema Global definido como SIFIC el cual puede ser descompuesto, o si se prefiere consiste de, un enorme número de pequeños

subsistemas, cada uno con sus dinámicas propias e independientes. Aquí es útil suponer que el estado del SIFIC es descrito por un cierto número de macroparámetros.

En física, la energía es un ejemplo de dichos parámetros si se desprecia la interacción superficial entre las partes del Sistema Global. Esta es la base para la aplicación de los métodos termodinámicos. Más aún, cada uno de los sistemas considerados es adicionalmente caracterizado por un conjunto de microparámetros, los cuáles pueden tener distintos valores para el mismo valor de un macro-parámetro fijo. Dichos valores son determinados por la dinámica del sistema y, generalmente, pueden ser de nuestro interés en sólo un aspecto: teniéndolos fijos. El estado exacto del sistema se vuelve conocido y es posible responder cuántos microestados corresponden a un macroestado del sistema, bajo esta modalidad, los economistas hacen el análisis de estática comparativa *ceteris paribus*, sin embargo, cuando intentan unir los resultados indexados con el tiempo, las discontinuidades no permiten la reconstrucción de prácticamente ninguna trayectoria real.

Para evitar estos contratiempos, bajo esta óptica basta adoptar algún estado particular del sistema como estado de referencia y su energía monetaria registrada EM_0 se asigna arbitrariamente a cero. La EM de un sistema en cualquier otro estado, relativa a la energía registrada en el estado de referencia, se llamará la energía monetaria del sistema en ese estado y se denotará por la letra M .

La primera ley de la termodinámica impide la existencia de movimientos perpetuos de primera especie, es decir, aquellos que se alimentan de la energía que ellos mismos producen sin necesidad de ningún aporte exterior. Así, el primer principio puede ser enunciado en términos económicos con la siguiente idea: no es posible que un monto de dinero produzca valor y que

a su vez este valor genere más dinero perpétuamente sin valor agregado por trabajo externo.

De hecho, para producir rendimientos sobre procesos productivos e inversiones a menudo es necesario que, además de valor agregado por trabajo, surjan gradientes en los precios o en el nivel de vida. Naturalmente, para que un agente económico sea autosostenible, los costos de manutención de sus actividades deben estar por debajo de su ingreso.

Al conjugarse estas dos restricciones en las actividades productivas, las masas monetarias inician sus ciclos. En las teorías clásicas se propone como ciclo fundamental a las cuentas nacionales las cuales se sustentan en la idea de que el ingreso monetario total Y es igual al dinero destinado al consumo total C más el ahorro total S , obteniendo la ecuación $Y = C + S$, ignorando el papel de los beneficios, los cuales vienen dados por la diferencia entre el ingreso y el consumo, es decir, $\Delta M = Y - C$. Así, ésta diferencia puede ser positiva o negativa -ganancia o pérdida- y es posible utilizarla de diferentes formas, por ejemplo, los agentes pueden ahorrarlo o gastarlo, las industrias reinvertirlo, etc.

Más aún, este mismo principio se cumple no sólo para los agentes económicos, sino también en los sistemas financieros ya que invertir dinero en México, Argentina, China o Francia da lugar a diferentes beneficios. De hecho, el rango de valores sobre el que está definido la función de pérdida también comienza en valores negativos como una ganancia y termina en los positivos como pérdida. Así, puede entonces ser enunciado lo siguiente:

Primer principio termoeconómico. El monto del rendimiento depende de la trayectoria de inversión, es decir, la integral cerrada del rendimiento $\oint \delta M$ no es cero y por tanto no es una forma diferencial total. Donde la integración es evidentemente espacial.

2.3. Entropía e información

En termodinámica, es usual interpretar a la entropía como una medida del desorden de un sistema. En concreto de la falta de disponibilidad en el sistema de energía convertible en trabajo. Desde una perspectiva estadística, se puede asociar el desorden de un sistema al número de microestados accesibles que, en definitiva, es una medida de su impredecibilidad.

Peso Estadístico

En este punto es necesario introducir la noción de *peso estadístico*. Por ahora, bastará con pensar en este concepto como el número de microestados correspondiente a un macroestado, de manera similar, tómesese como noción de entropía a la medida de incertidumbre del macroestado del sistema, la cual es una función del número de microestados.

Suponiendo que no se conoce nada sobre la dinámica del sistema, excepto que es bastante complejo como para contabilizar todos los intercambios efectuados al interior del SIFIC, una hipótesis natural para el valor de la probabilidad de cualquier valor de un macroparámetro es que es proporcional al número correspondiente de microestados y por ende al peso estadístico. Dado que el logaritmo es una función monótona, el estado más probable, es decir, el estado con mayor peso estadístico es, al mismo tiempo, el que posee mayor entropía o mayor grado de incertidumbre.

Si se desea que la entropía sea aditiva, ésta puede ser considerada como el logaritmo de los pesos estadísticos. Dado que $\ln(ab) = \ln a + \ln b$, se obtiene la bien conocida y famosa ecuación:

$$\sigma = k \log P \quad (2.1)$$

Boltzmann, padre de la física estadística, proporcionó una interpretación

microscópica al oscuro concepto de entropía termodinámica dada por Clausius[17] y la definió como proporcional al logaritmo del número de estados microscópicos compatibles con uno macroscópico[18]. En particular, una consecuencia de (2.1) es que un sistema tiene entropía $\sigma = 0$ cuando tiene un único microestado accesible, $\Omega = 1$, situación en que el estado macroscópico del sistema es totalmente predecible.

Casi un siglo después, apareció otra expresión similar en otro contexto. Shannon y Weaver, dos ingenieros de telecomunicaciones, preocupados por mejorar la capacidad de transmisión por líneas telegráficas, necesitaban cuantificar la información contenida en un mensaje. Propusieron su célebre fórmula para medir la información I que proporciona la recepción de un mensaje cuya probabilidad es P :

$$I = -k \log P \quad (2.2)$$

Para dejar esto claro, suponga lo siguiente. Si en una economía local se tienen 99 compradores y 1 vendedor, si uno de los agentes ha dejado de participar, el que sepamos que ha sido un comprador (alta probabilidad) no supone mucha información para ningún análisis, ya que era lo más probable. Por el contrario, si se sabe que ha sido el vendedor el que ha cesado operaciones presupone un cambio en la dinámica del sistema, Es decir, al aumentar la probabilidad de un suceso disminuye la información global.

Entonces, se puede decir que la entropía aparece como una medida de la falta de información que tenemos sobre un sistema. En resumen, si un sistema es tal que el estado macroscópico del sistema comprende un gran número de microestados (mucha entropía), si se supiera en qué microestado se encuentra el sistema, es decir, poca probabilidad, obtendríamos una gran información.

Por otra parte y visto de manera inversa, la probabilidad de cada microestado es pequeña, y por lo tanto, otorga poca información sobre el sistema. Conocer el estado macroscópico no presupone saber cuál es la distribución microscópica de entre todos los posibles micro-estados compatibles con éste: carecemos de información. Así, la entropía aparece como un indicador de la información que hace falta para conocer cierta configuración detallada, como una medida de nuestra incertidumbre.

No debe olvidarse que la entropía es un concepto inventado por el hombre para hacer pronósticos y para inferir en qué sentido se desarrollan los procesos. Por tanto, la entropía, como falta de información, no es una magnitud intrínsecamente ligada a los cuerpos, sino una medida de nuestra ignorancia sobre ellos. El crecimiento de la entropía -característica de los procesos irreversibles- es una pérdida del conocimiento, motivada por tener acceso únicamente a los datos macroscópicos. Según Jaynes[46], no es el proceso físico el que es irreversible sino nuestra capacidad para seguirlo.

De lo anterior, se desprende el siguiente resultado que es el centro de la segunda ley de la termodinámica y al cual ningún fenómeno de la naturaleza escapa: la entropía tiende a incrementar conforme cada parte del sistema tiende hacia el estado más probable durante las interacciones con las otras partes.

Suponga que es posible “aislar” alguna parte del sistema para observar la distribución de los estados probables, entonces se tendría que considerar al resto del sistema como un SIFIC que mantiene invariante la distribución de estados dentro del subsistema aislado.

Debe hacerse énfasis en que lo anterior no especifica la naturaleza del sistema a estudiar, es decir, los conceptos no se han relacionado directamente con leyes físicas “observables”. Conviene tener presente que por leyes de la

naturaleza queremos decir leyes universales, obedecidas por todo y todos, incluyendo a los humanos y sus agrupaciones, por lo que sus principios son aplicables a cualquier sistema.

Estos argumentos sirven de soporte natural respecto a los grandes sistemas económicos, si se considera el ingreso total, el valor total de los productos o el consumo total de bienes y servicios como macro-parámetros, mientras que la distribución del ingreso y la producción de bienes de consumo entre los sujetos de la actividad económica son vistas como micro-parámetros.

En este planteamiento termoeconómico se puede evitar la necesidad de explorar las dinámicas de los subsistemas, tomando en cuenta el conocimiento de las limitaciones sobre la producción de bienes y su distribución. Por lo anterior, se propone no sólo un nuevo enfoque, apropiado para describir la dinámica y los atractores económicos, sino también los instrumentos para investigar el impacto de las restricciones de mercado sobre el establecimiento de los estados más probables.

La termodinámica es de fundamentos tan generales que los científicos, sin importar su área de especialidad, reconocen como universal su segundo principio: el crecimiento de la entropía. El misterio no es que la entropía crezca hacia el futuro en una región (bastaría con definir como futuro la dirección del tiempo en que crece la entropía), sino que todos los futuros así determinados sean compatibles entre sí, es decir, coincidan y permitan un futuro global.

A este respecto, Hawking, escribe que "... la segunda ley de termodinámica es realmente una tautología. La entropía crece con el tiempo, porque definimos la dirección del tiempo como en la que la entropía se incrementa". Más tarde, ha corregido: "No es un comportamiento trivial el de nuestro Universo, el cual debería tener una flecha termodinámica bien definida la cual

parece apuntar en la misma dirección en cualquier lugar donde podemos observar”[54].

Por otro lado Einstein[36] pensaba sobre la Termodinámica que “Es la única teoría física de contenido general, que me ha convencido, que jamás se ha salido del marco de aplicabilidad de sus principios”[48].

Y Eddington[35] opinaba sobre el segundo principio que “La ley de que la entropía siempre crece mantiene, pienso yo, la posición suprema entre las leyes de la Naturaleza. Si alguien te indica que tu más preciada teoría del Universo está en desacuerdo con las ecuaciones de Maxwell, pues tanto peor para las ecuaciones de Maxwell... pero si se encuentra que tu teoría está en contra de la segunda ley de termodinámica, no puedo darte ninguna esperanza; no hay nada para no colapsar en la más profunda de las humillaciones”[46].

Así pues los fenómenos irreversibles con el consiguiente crecimiento de la entropía los podemos tomar como indicadores del sentido del tiempo. La segunda ley es de tal importancia y universalidad que se llega a considerar como la más fundamental de las leyes físicas.

Estados más probables

Por más de un siglo, los esfuerzos para probar las predicciones termodinámicas dentro del marco de trabajo de la física teórica, analizando ecuaciones de movimiento, no tuvieron éxito. Los dos niveles de descripción de los sistemas económicos presentan un mismo planteamiento: ¿como obtener ciertos parámetros, quizás, completamente “artificiales” o no obvios, que gobiernan la evolución temporal o espacial de los fenómenos, entendido como la ausencia de flujos -bienes, personas o dinero- entre las subsistemas? Antes de responder a esta pregunta es útil introducir el concepto de equilibrio entre dos sistemas.

Dos economías se encuentran en el mismo estado si su función de distribución del ingreso no cambia cuando entran en “contacto”, lo cual equivale a decir que no existen gradientes monetarios entre los sistemas.

Por un contacto se entenderá una lista abierta de modos posibles de redistribución. Es importante hacer hincapié en que es posible calcular el peso estadístico a pesar de la innumerable variedad de limitaciones institucionales impuestas sobre el ingreso de los agentes, de tal manera que si se analiza un número N de agentes, las frecuencias de los macroestados pueden ser distintas para diferentes sistemas.

Un bien económico es algo que tiene valor para un agente y que puede ser intercambiado por alguna otra cosa con valor monetario. Así, el dinero es una medida de intercambio que puede ser negociado por bienes económicos,

por lo que la cantidad de dinero que un agente está dispuesto a comerciar por un bien en un punto específico del tiempo es el valor monetario del mismo. Por supuesto, se pueden asignar en un mismo momento distintos valores monetarios al mismo bien económico. La preferencia temporal es comunmente representada por una tasa de interés -o un sistema de tasas de interés- usados para descontar pagos futuros o desembolsos de dinero de tal manera que estos puedan ser comparados con otros flujos de dinero.

En este contexto, se puede decir que, si se excluye el crédito y los procesos inflacionarios, el dinero -o el ingreso- se mantienen aproximadamente igual sin importar la distribución de éste. Lo anterior puede ser una hipótesis plausible debido a que, a diferencia de la riqueza material, con una inflación moderada, el dinero tiene un valor determinado para un sistema económico y que el mismo no puede ser producido por los agentes y sólo es posible transferirlo entre ellos de acuerdo a las diferentes asignaciones.

Para ejemplificar lo anterior, considere una economía en cualquier estado determinado. El *ingreso interno* será igual en cada momento a la suma de los ingresos de los agentes individuales. Si ésta economía está aislada, este dinero será constante, pero debido a los intercambios y actividades económicas, se producirán cambios continuamente en el monto de dinero que posee cada individuo. Si se pudiera registrar con detalle al conjunto de los agentes en momentos sucesivos, cada registro representaría un micro-estado diferente.

Lo anterior significa que a cada estado definido por magnitudes como dinero, temperatura económica, etc. le corresponde un gran número de diferentes "micro-estados revelados" sólo cuando el sistema se somete a un examen individuo a individuo. El número de micro-estados que corresponden a un estado particular se le denomina probabilidad termoeconómica del sistema. El estado más probable será aquel al que le corresponda un número

máximo de microestados.

Considere que dicho sistema económico consiste de N agentes, entre los cuales el ingreso, constante para el sistema como un todo, es distribuido. En general, existen varias formas de distribuir el ingreso y somos incapaces de prever todas las posibles alternativas. Para mayor simplicidad, suponga que el ingreso es cuantificable, es decir, presentado en enteros.

Ahora, a pesar de que existen varias formas de medir el ingreso dentro de un sistema económico, este concepto puede medirse como el producto del ingreso medio de los agentes en dicha economía por el número de los mismos. Entonces, para cada monto del ingreso total M es posible encontrar la cantidad de maneras posibles de distribución del ingreso entre los agentes, denotada como $\Omega(M, N)$, a esta medida se le denomina peso estadístico del estado o probabilidad termoeconómica de la distribución con ingreso M .

Si dos sistemas interactúan, uno con ingreso total M_1 y número de agentes N_1 y otro con M_2 y N_2 respectivamente, entonces el sistema es caracterizado por un monto total de dinero $M_1 + M_2$ y número de agentes igual a $N_1 + N_2$.

Con este planteamiento se pueden realizar preguntas interesantes tales como ¿existirán condiciones necesarias o suficientes para hallar al sistema en valores estacionarios, i.e., para el estado sin variaciones en el ingreso entre los sistemas? ¿tendrá atractores este sistema? ¿cuales serán los valores y la fuerza de los mismos? ¿qué implicaciones conllevan?

Las respuestas a este tipo de preguntas son precisamente lo que los economistas andan en busca desde los inicios de su praxis.

Información y estados más probables

En general, los modelos matemáticos se fundan sobre el comportamiento que se espera de ciertos objetos ideales. Si dichos objetos en nuestro mundo real se ajustan estrechamente a sus réplicas ideales, entonces se dice que dichos modelos matemáticos son potencialmente válidos y que los mismos sirven para predecir su comportamiento efectivo.

En cuestiones económicas, es predominante la falta de información sobre los agentes, además de la evidente imposibilidad de analizar y caracterizar a cada uno de estos. Por ello, partiremos de una hipótesis común en estadística sobre los estados elementales de la distribución del ingreso: todos poseen la misma probabilidad de ocurrencia.

La causa principal para tal hipótesis es la simetría de los estados. Al igual que la estadística matemática, se supone equiprobabilidad en los eventos elementales porque no se tiene evidencia para preferir un evento sobre otro. La ley de los grandes números y el teorema central del límite garantizan la convergencia de las probabilidades bajo estas hipótesis. Así, es de vital importancia para la teoría, incluir la distribución de todos los estados probables. Por lo que el cambio de la función $\Omega(M, N)$ provocará, ciertamente, un cambio en los resultados obtenidos en este modelo.

Por supuesto, en algunas estructuras de mercado, no puede sostenerse esta hipótesis. Sin embargo, la estructura matemática de la termodinámica hace posible introducir distribuciones de otro tipo tales como los llamados modelos de Ewens. Incluso es natural su extensión a algunos modelos en los cuales es posible probar que el número total de grupos, normalizados apropiadamente por algunas potencias ponderen categorías o clases de agentes con lo que se logran distribuciones *ad hoc*. Así, al dejar de tratar todas las posibles configuraciones equiprobablemente, se obtendrán comportamientos cualitativamente distintos en los límites termodinámicos.

Por ahora, nos ocupa encontrar las restricciones para hallar estados estacionarios. Para este fin, es necesario determinar las condiciones bajo las cuales el ingreso no es redistribuido entre los sistemas interactuantes. Considere una redistribución del ingreso durante alguna interacción y suponga que una parte del dinero M pase del sistema 1 al 2. Entonces, los estados de los sistemas cambian y sus respectivos pesos estadísticos se vuelven igual a $\Omega_1(M_1 - \Delta M, N_1)$ y $\Omega_2(M_2 + \Delta M, N_2)$ respectivamente.

El principio de equiprobabilidad implica que el estado más probable del sistema integrado es aquel con el mayor peso estadístico. Entonces basta con proceder a buscar el máximo de la función $\Omega_{tot}(M_1, M_2, N_1, N_2)$, con la condición de que el total del ingreso es aproximadamente constante. Si la transferencia de agentes de un sistema a otro no es posible, entonces el peso estadístico del sistema integrado es igual a

$$\Omega_{tot}(M_1, M_2, N_1, N_2) = \Omega_1(M_1, N_1)\Omega_2(M_2, N_2) \quad (2.3)$$

Un sistema económico se encuentra en estado estacionario si se encuentra bastante homogéneo y no existen variaciones en el ingreso de una hacia otra de sus partes. Estamos suponiendo, ciertamente, que la homogeneidad es mantenida sólo bajo la idea de que existen (o son observados) pequeños flujos en el ingreso y estos son insignificantes.

Dado que $M_1 + M_2 = \text{constante}$, se sigue que $\Delta M_1 = -\Delta M_2$ y puesto que el logaritmo natural es una transformación monótona, en vez de buscar el máximo de Ω_{tot} , se puede buscar el máximo de $\ln\Omega_{tot}$. De lo cual se deduce $\ln\Omega_{tot} = \ln\Omega_1 + \ln\Omega_2$, cuya condición para hallar el máximo es bastante simple:

$$\frac{\partial}{\partial M_1} \ln\Omega_1(M_1, N_1) = -\frac{\partial}{\partial M_2} \ln\Omega_2(M - M_1, N_2) \quad (2.4)$$

o, como $dM_1 = -dM_2$ se tiene

$$\frac{\partial}{\partial M_1} \ln \Omega_1(M_1, N_1) = -\frac{\partial}{\partial M_2} \ln \Omega_2(M_2, N_2) \quad (2.5)$$

Entonces, dos sistemas se encuentran en el mismo estado si son caracterizados por el mismo valor del parámetro $\frac{\partial}{\partial M} \ln \Omega(M, N)$. Por lo anterior, para alcanzar el mismo estado, los sistemas que se encuentran en interacción deben estar a la misma temperatura, nótese que esto no implica que sus agentes sean homogéneos respecto a su ingreso, sólo que su nivel de vida o la *renta per capita* sea similar, de hecho, como se mostrará más adelante, en economías de libre mercado los agentes que participan en una economía son necesariamente heterogéneos.

Así, reconociendo la naturaleza no determinista de la distribución del dinero para cada agente, es por demás útil caracterizar la distribución del dinero o, mejor aún, la función de distribución de probabilidades del dinero, para la cual el número de agentes con un monto de dinero entre m y $m+dm$ viene dada por $N\phi(m)dm$. Por supuesto, existirán diferentes leyes de distribución con distintos parámetros, pero algo primordial será investigar si existen distribuciones estacionarias $\phi(m)$ y cual es su forma funcional¹. Lo anterior puede brindar información sobre las estructuras de mercado y posibles explicaciones a los atractores económicos. También puede dar bases firmes para la predicción de cambios cualitativos basados en políticas económicas, debido a que los agentes individuales pueden estar fluctuando de manera muy aguda y, sin embargo, permanecer la distribución invariante a diferentes escalas.

En general, todos los procesos espontáneos representan cambios de un estado a otro de mayor probabilidad, y como todos estos procesos llevan

¹Algunos autores han sugerido que la evidencia experimental es del tipo Pareto

consigo un incremento de entropía[45], es lógico suponer una correlación positiva entre la entropía σ de un sistema en un estado determinado y la probabilidad termodinámica P del mismo. Tal relación fue establecida por L. Boltzmann, en 1877, en la forma:

$$S_2 - S_1 = k \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2.6)$$

Teniendo en cuenta que la entropía es una propiedad aditiva, es decir, extensiva, en tanto la probabilidad termoeconómica es multiplicativa. Escrita en la forma $\sigma = k \ln P$ se indica que un sistema aislado estacionario corresponde a situaciones en que la probabilidad termoeconómica es máxima.

Cabe señalar que no sólo nos interesan los valores estacionarios sino cómo se puede acceder a ellos y cuales son las restricciones que evitan se tengan índices estacionarios o estables una vez deflactados, lo cual es de particular interés para la planeación y dirección de las políticas económicas.

Para este efecto, ha de establecerse que los ciclos monetarios pueden reconocerse en la creación de un bien o servicio y el conjunto de valor agregado que cada uno de los agentes otorga al mismo hasta que llega al consumidor final. Qué el incremento en el precio de los productos puede ser visto como una propiedad extensiva que da origen a cadenas productivas, en donde el precio mínimo final es la suma de los costos y ganancias de cada agente que participa en la producción, transportación y comercialización del mismo.

Así, el precio se establece como el valor acumulado por todos los participantes, lo cual provoca el gradiente de precios ΔM que impulsa el comercio entre distintos sistemas económicos. Después de cada ciclo, la ganancia total ha quedado repartida entre todos aquellos que agregaron valor aunque el precio final real se fija, la mayoría de las veces, por el proceso de oferta-

demanda.

En economía clásica[95] se establece que los ciclos monetarios para los hogares se basan fundamentalmente en la decisión de repartición del dinero M_i entre el consumo C_i y el ahorro S_i , es decir, que por cada decisión sobre el monto de dinero M_i que posee el i -ésimo agente, existe una cantidad ΔM_i . Resulta pues, que si cada agente -individuo o compañía- posee su propio ciclo monetario y se piensa en flujos continuos entonces, para que un agente sobreviva requiere que la integral de ΔM , sobre todas las transacciones que realice, sea positiva.

La descripción matemática de estos ciclos monetarios puede describirse a través del cálculo de formas diferenciales totales y no totales. De esta forma, es posible explicar que las integrales cerradas o ciclos no siempre sean cero lo que implica ganancias o pérdidas de energía monetaria o de capital, lo cual no sólo conlleva un razonamiento intuitivo sino también motiva el primer principio termoeconómico. Además, ésta idea coincide con el marco del desarrollo neoclásico.

Sin embargo, al reconocer que cada uno de los que participan en la cadena productiva le agrega valor a los productos finales -con los cuales se calcula el PIB- debe reconocerse también que estos ciclos forman a su vez *cadena económica*, es decir, que para producir N bienes, el precio por cada uno de ellos $\omega = \Omega/N$ es diferente para los trabajadores, la industria, los comerciantes y los consumidores finales. Además de que todos los grupos se encuentran jerarquizados, cada uno obteniendo una ganancia $\Delta M/N$ por cada bien y dando valor agregado al producto.

Así, un trabajador produce un bien y obtiene un salario $(\Delta M)_1$ a cambio de su trabajo. La compañía vende éste bien a un intermediario y obtiene un beneficio $(\Delta M)_2$ por ello. Eventualmente, el vendedor obtiene una ganancia

$(\Delta M)_j$ al colocar el producto con el consumidor final después de un número j de transacciones. Cada grupo obtiene un beneficio y se cierra un ciclo económico, sin embargo, debe notarse que, para la totalidad de los bienes, es imposible que los trabajadores que *efectivamente* producen el bien sean capaces de pagar el precio de dicho bien. Concretamente, éste ciclo evita que los productores de bienes y servicios sean consumidores finales de los productos que han generado!

Si esto se lleva al comercio internacional, se reproduce bajo los mismos argumentos. A lo largo de millones de años, la naturaleza ha acumulado grandes reservas de recursos y riqueza tales como petróleo, minerales, etc. Éstas reservas pueden brindar bienestar a las sociedades que las habitan y otorgan posibilidades de comercio y riqueza a través del proceso de agregar valor con trabajo.

Una pregunta interesante es ¿por qué países con grandes fuentes de riqueza natural son pobres? La respuesta es porque venden estos recursos como materias primas a los países ricos pensando que están haciendo un gran negocio y después de que le ha sido agregado valor por procesos de refinamiento comercial, los proveedores simplemente no pueden comprar los productos finales.

Si esto es cierto, entonces ¿quién va a comprar los productos de los países ricos?

Pues la gente rica de los países pobres. Pero este mecanismo sólo puede funcionar si el número de países pobres excede el número de ricos por mucho. Otra solución es que los países pobres compren bienes y servicios que han perdido valor hasta la cantidad de lo que han recibido por sus materias primas o su mano de obra -o incluso menos. Es común que países pobres o en desarrollo compren el “armamento en buen estado” de las potencias

mundiales -de segunda o tercera mano- y que aún así estos productos sufran un incremento en el precio debido a intermediarios.

Por ejemplo, las armas, tanques, misiles y demás tecnología de la primera y segunda guerra mundial siguen siendo vendidos a países africanos o latinoamericanos, los cuales serían prácticamente obsoletos de no ser porque son utilizados contra países o sociedades en igualdad de pobreza y con la misma calidad de armamento.

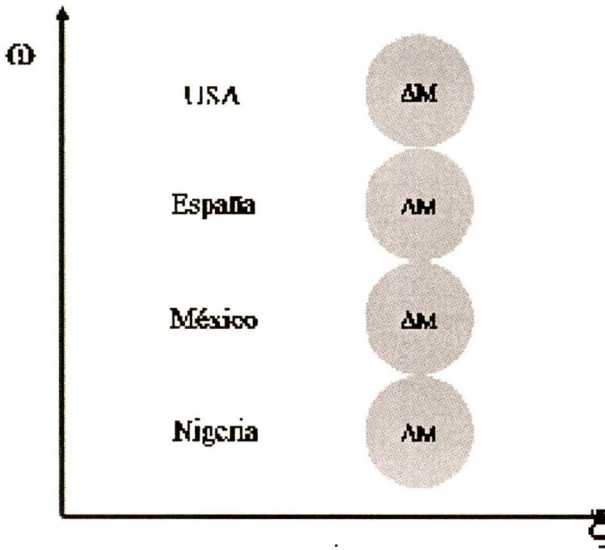


Figura 1. Cadenas monetarias de ciclos económicos para diferentes países.

En la figura 1 se ha utilizado el plano $\xi - \omega$ para ilustrar el valor agregado en las cadenas monetarias, el eje ξ corresponde al precio por cada producto ω o el capital por agente económico. Sin embargo, el eje ξ no está bien definido, por lo que es necesario retomar el cálculo de las formas diferenciales no totales, las cuales pueden ser transformadas a totales si se utiliza un factor integrante adecuado de tal forma que la integral cerrada sea cero². Es decir,

²Para mayor detalle, revisar [45].

si se trata de un sistema de libre mercado en donde es posible evaluar la temperatura económica a través de la *renta per capita*, entonces esta medida podrá ser utilizada como factor integrante para la ecuación del rendimiento δM .

Así, el factor $1/\tau$ lleva a la función df a una nueva función f y, adicionalmente, se obtiene una nueva magnitud σ que coincide con la entropía definida anteriormente a través de los pesos estadísticos. De hecho, $d\sigma = \delta M/\tau$ y resulta que

$$\oint \delta Q = \oint \tau d\sigma \neq 0 \quad (2.7)$$

Por lo que puede establecerse lo siguiente

$$\delta M = \oint \tau d\sigma = \oint \omega d\xi \neq 0 \quad (2.8)$$

De la expresión anterior, se desprende que las variables de los ciclos monetarios (ξ, ω) viene especificadas por el *nivel de vida* y por la entropía del sistema de la manera $\xi = \sigma$ y $\omega = \tau = M/N$.

De manera continua, puede decirse que la derivada de la entropía respecto al dinero es el inverso de la temperatura económica, es decir,

$$\frac{\partial}{\partial M} \ln \Omega(M, N) = \frac{1}{\tau} \quad (2.9)$$

Por supuesto, la subdivisión del sistema en partes muy pequeñas conlleva fluctuaciones significantes pero esto puede ser resuelto suponiendo que si observamos una pequeña parte del sistema por un tiempo suficientemente grande, entonces es posible describir adecuadamente la distribución de probabilidades de ese estado. De hecho, ésta es una de las formulaciones de la hipótesis de ergodicidad.

Se ha visto ya que en este modelo existen dos características de suma importancia: la entropía y la temperatura. Si no se conocen estos parámetros, no es posible inferir correctamente las condiciones para el establecimiento de uno o más posibles estados estacionarios. Adicionalmente al ingreso medio por habitante, el mercado de capitales también puede ser considerado como un termómetro económico si lo que se desea atender es el plano financiero en donde lo importante son el número de compañías que participan en el mercado. En el caso de reconocer estructuras de mercado en competencia perfecta, todo se simplifica debido a que, como se ha mencionado, la temperatura corresponde con el ingreso medio de los agentes -renta per capita.

2.4. Sobre la distribución del ingreso

Una posible objeción contra el enfoque estadístico es que el número de partículas involucradas, es decir, el número de agentes económicos, es pequeño si se le compara con el número de partículas usualmente consideradas en sistemas físicos.

Una de las tendencias en física contemporánea es aplicar el enfoque termodinámico a sistemas con un número bastante pequeño de partículas - $10^3 - 10^9$ - y los resultados son válidos no sólo de manera cualitativa, sino también cuantitativamente. El orden de magnitud de los sistemas económicos se encuentra en este rango, por lo que un enfoque estadístico puede ser confiable en el aspecto predictivo. Por lo anterior, parece entonces que construir modelos de interacción uno a uno y tomar agentes representativos se encuentra lejos de aumentar la confiabilidad en las predicciones ya que está construida en los límites de confianza como el principio de incertidumbre.

Para ilustrar esta tesis, analicemos la entropía de un sistema bastante simple.

Suponga que la distribución del ingreso entre los sujetos de cierta actividad económica es dada de la siguiente forma entre los individuos:

- i) tiene ingreso 0, o
- ii) salario fijo w .

Suponga además que el sistema está organizado de tal forma que todas las desviaciones son inhibidas mediante un mecanismo institucional de redistribución.

Tal ejemplo de sistema económico se basa en la experiencia de algunos países aspirando a implementar varios “principios niveladores” en la distribución del ingreso. Estipulando que una parte de la población es totalmente excluida de las actividades económicas, siendo alentada a tener un nivel muy bajo de ingresos (subsidiada por la seguridad social o por la Naturaleza). Si el número total de individuos es N y el número de los que reciben ingreso es n , entonces el monto de la masa monetaria total es $M_{tot} = Lw$ y, obviamente, el número de estados probables de este sistema debe ser igual a las combinaciones de n en N , C_N^n .

Comparando los pesos estadísticos de los sistemas con los diferentes niveles de ingreso total, se puede concluir que el estado con mayor peso estadístico es $M = nw$, donde $n = N/2$. Introduciendo un parámetro de inhomogeneidad, $\gamma = |n - N/2|$ y aplicando la fórmula de Stirling para el factorial, se obtiene la siguiente aproximación a la dependencia del pesos estadístico del parámetro de inhomogeneidad:

$$\phi(N, \gamma) = 2^N \left(\frac{2}{\pi N} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{-2m^2}{N} \right) \quad (2.10)$$

La fórmula (2.10) muestra que el peso estadístico (y consecuentemente

la entropía) tiene un máximo extremadamente pronunciado, que depende del parámetro de inhomogeneidad y de $1/\sqrt{N}$.

El principio de equiprobabilidad de los estados elementales implica inmediatamente que la entropía de los sistemas interactuando tiende a incrementarse. El estado más probable es aquel con el mayor peso estadístico, es decir, con el máximo de entropía. Cómo el número de los estados probables del sistema decrece rápidamente con el incremento del parámetro de inhomogeneidad, es sumamente posible encontrar al sistema en un estado para el cuál dicho parámetro exceda cierto valor crítico, determinado por el de individuos en el sistema, para este ejemplo, el valor es precisamente $1/\sqrt{N}$.

Por lo anterior, es claro que conocer la distribución del ingreso entre los agentes involucrados en la actividad económica es de vital importancia para este modelo. Dentro del marco de trabajo de la termodinámica, existe una función cuya configuración, si el número de partículas es constante, depende sólo de la temperatura, dicha función es llamada la *Distribución de Boltzman*. Recientemente, como ya se ha mencionado, en economía se ha formulado la hipótesis de que dicha distribución sigue la ley de Pareto.

Para examinar este punto, imagine que el sistema económico X es bastante grande -del tipo SIFIC- y que una parte Y es apartada de éste. Si se considera a cierto estado del pequeño subsistema con ingreso M_i , la probabilidad para éste subsistema de tener ingreso M_i , bajo la hipótesis de que el ingreso total del sistema es constante, es proporcional al número de los estados posibles con un rango de ingreso $M - M_i$. Entonces el cociente de la probabilidad $\phi(M_i)$ para el subsistema de tener ingreso M_i , con la probabilidad de tener ingreso M_j , es igual al correspondiente cociente de

probabilidades para el depósito:

$$\frac{\phi(M_i)}{\phi(M_j)} = \frac{\Omega(M - M_i, N)}{\Omega(M - M_j, N)} \quad (2.11)$$

Dado que $\Omega = e^{\sigma(M, N)}$ donde $\sigma(M, N)$ denota la entropía del sistema y puede ser expresada como:

$$\frac{\phi(M_i)}{\phi(M_j)} = e^{\sigma(M - M_i, N) - \sigma(M - M_j, N)} = e^{\Delta\sigma} \quad (2.12)$$

Si la economía controlada es mucho más grande que el subsistema en cuestión, es posible desarrollar la expansión de $\Delta\sigma$ en series de Taylor, de esta manera se tiene para la aproximación de primer orden $\Delta\sigma = \frac{M_i - M_j}{\tau}$, donde τ es la temperatura de la economía controlada, ver (2.9).

Luego, se sigue:

$$\frac{\phi(M_1)}{\phi(M_2)} = e^{\frac{M_1 - M_2}{\tau}} \quad (2.13)$$

La ecuación (2.13) es una aproximación a la distribución de probabilidades del sistema local.

Si el número de estados probables del subsistema Y con ingresos M_1 e M_2 es igual a $\Omega_Y(M_1)$ y $\Omega_Y(M_2)$, respectivamente, entonces la ecuación asociada a la distribución toma la forma

$$\frac{\varphi_Y(M_1)}{\varphi_Y(M_2)} = \frac{\Omega_Y(M_1)}{\Omega_Y(M_2)} e^{-\frac{M_1 - M_2}{\tau}} \quad (2.14)$$

La cual denota la probabilidad $\phi(j)$ de encontrarse en cierto estado j , a la probabilidad $\varphi(j)$ de tener un nivel de ingreso j . Observe que en el desarrollo llevado a cabo hasta ahora se han utilizado tan sólo dos hipótesis: el sistema es homogéneo respecto al comportamiento de sus agentes económicos, por lo que es posible subdividirlo dentro de sus partes interactuantes sin producir cambios en el ingreso.

Aún así, la distribución de Boltzman puede ser realizable en el sistema -con respecto al ingreso- el cuál interactúa con la economía controlada mantenida a cierta temperatura. En el sistema aislado, sucede lo contrario, la temperatura depende de ambos: ingreso y entropía. Esta distribución del ingreso ayuda a entender la relación entre el ingreso medio de los consumidores dentro del sistema y la temperatura del mismo.

Suponga ahora que no existen restricciones sobre el ingreso de los agentes y que todos los niveles de ingreso fueran permitidos. Tal situación es comúnmente asociada con la economía de mercado. Entonces, con la ayuda de la función de distribución de Boltzman, el ingreso promedio de un consumidor puede ser fácilmente calculado con la siguiente ecuación

$$\bar{M} = \frac{\int_0^{\infty} M e^{-M/\tau} dM}{\int_0^{\infty} e^{-M/\tau} dM} \quad (2.15)$$

El lector observará claramente que, en ausencia de alguna restricción sobre el ingreso de los agentes, el ingreso promedio es igual a la temperatura. Aquí el límite superior de integración es igual a infinito, a pesar del hecho de que el ingreso total del sistema se encuentra acotado por alguna constante. Sin embargo, dado que el exponente decrece rápidamente, esto es realmente poco importante, sabiendo de antemano que en la realidad el ingreso total sobrepasa en gran magnitud el promedio de un agente individual.

Como se expondrá más adelante, bajo restricciones sobre el ingreso la relación entre temperatura e ingreso promedio puede lucir bastante diferente.

En resumen, sustituyendo este resultado en la ecuación (2.14), se puede establecer que la probabilidad de que el sistema tenga un nivel monetario M_r es

$$\phi(M_r) = \frac{\Omega(M_r, N) e^{-M_r/\tau}}{Z_0} \quad (2.16)$$

donde $\Omega(M_r, N)$ es el número de estados con monto de dinero M_r . Vemos pues que ésta probabilidad es el producto de dos términos que dependen del dinero. El primero, $\Omega(M_r, N)$, es fuertemente creciente con M_r . El segundo, por el contrario, decrece exponencialmente. Por supuesto, este comportamiento puede irse modulando a partir de parámetros poblacionales para reproducir los valores reales.

Debe notarse que el parámetro Z_0 depende exclusivamente de τ y será llamada *función de partición económica*, la cual puede ser evaluada de la forma

$$Z_0 = \sum_{M_r} \Omega(M_r, N) e^{-M_r/\tau} \quad (2.17)$$

La suma aquí corre sobre todos los posibles valores de M . La probabilidad de que el sistema se encuentre interactuando con el sistema controlado a temperatura τ , puede ser expresada como

$$\phi(M) = \frac{e^{-M/\tau}}{Z_0} \quad (2.18)$$

Con un número fijo de agentes, el ingreso promedio en el sistema a temperatura τ es dada por la ecuación:

$$\bar{M} = \frac{\sum_M M \Omega(M, N) e^{-M/\tau}}{Z_0} = \tau^2 \frac{\partial}{\partial \tau} \ln Z \quad (2.19)$$

Lo anterior significa que si se conoce como la función de partición depende de la temperatura, es posible obtener el valor del ingreso promedio a través de la diferenciación. Esto demuestra que el enfoque termodinámico sobre los sistemas económicos ayuda a deducir inesperadas, aunque ciertas, conclusiones.

2.5. Interacción entre sistemas económicos

En esta sección el ingreso es analizado con mayor detalle como un *modelo de spin* con los posibles valores utilizados anteriormente 0 o w . A pesar de que esta analogía puede parecer de naturaleza demasiado abstracta, este modelo es bastante útil.

Sistemas sin restricciones sobre el ingreso

En el sistema de libre mercado, la entropía aumenta al mismo tiempo que se incrementa el dinero y la temperatura es siempre positiva, lo cuál no siempre es el caso para un sistema con restricciones sobre el ingreso. De hecho, si el número de agentes n con ingreso no cero sobrepasa la mitad del número total de agentes en el mercado, N , el número C_N^n de estados probables del sistema, comienza a disminuir y el inverso de la temperatura dado por la ecuación (2.13) se vuelve negativo.

¿Cuál es el significado de *temperatura negativa*?

En este contexto, la temperatura negativa implica una *población invertida*[97], es decir, una situación en la cuál los niveles con mayor energía se encuentran más densamente poblados que aquellos con baja energía. En tal estado, el sistema se encuentra inminentemente listo para ceder su energía al contacto con cualquier sistema con temperatura positiva.

¿Cómo puede esto ser interpretado en términos de la distribución del ingreso descrito arriba?

Si dos sistemas con temperatura positiva están en contacto, la redistribución del ingreso lleva la dirección del sistema con la más alta temperatura hacia él de la más baja. Una manera de medir la temperatura económica

para el libre mercado es proponer que esta sea igual al ingreso promedio por agente, es decir, la *renta per capita*. La redistribución del ingreso del sistema más rico hacia el más pobre concuerda con la intuición.

Sea ahora X un sistema de libre mercado, con temperatura T_X igual al ingreso promedio por agente de mercado.

Sea Y un modelo de spin con cota superior de ingreso w . Sea $T_X > Nw$ y permítase que el número de sujetos de Y con ingreso no cero exceda la mitad del número total, de lo cuál se desprende por el razonamiento anterior que la temperatura es, evidentemente, negativa.

Una pregunta interesante sería, por ejemplo: ¿qué pasaría si los dos sistemas descritos se pusieran a interactuar?

La entropía del sistema conjunto incrementaría y la entropía del sistema Y también aumentaría de manera simultánea, precipitando de este modo desorden desde el sistema Y . Por consiguiente, Y debe transferir una porción de su ingreso a X a pesar de que el ingreso promedio del sistema X ya es más alto que el de Y .

Como resultado, el sistema Y con restricciones sobre el ingreso se vuelve incluso más pobre, mientras que el sistema X sin ninguna restricción sobre el ingreso se vuelve más rico.

Éste resultado no significa que la redistribución del ingreso será un efecto de coacción o saqueo, sino que será una consecuencia directa del hecho de que el sistema combinado tiende a adquirir el estado más probable. Aunque la coacción juegue cierto papel, este no es de la forma X abusando de Y , sino coacción dentro del sistema Y , dirigida a obstruir cualquier incremento en el ingreso por encima de cierto nivel.

Aplicando el resultado de la manera más simple de este modelo a situaciones económicas reales, se pueden señalar dos importantes conclusiones:

1. la política de restringir el ingreso es peligrosa si el contacto con el libre mercado es inevitable
2. si dicha política ya fue puesta en marcha y la economía en la cuál fue implementada se encuentra aislada del libre mercado, entonces el efecto de las “reformas de mercado” dependerá de la secuencia de dos pasos principales, la liberación del ingreso y el establecimiento del contacto con el libre mercado.

Para un país con una economía de no libre mercado, podría ser necesario liberar las restricciones sobre el ingreso y después “abrir” su economía al mercado sólo después de haber estabilizado de manera interna y encontrarse en un estado estacionario. De otra forma, los recursos del país van a ser “succionados” del mismo antes de que se haya establecido un equilibrio local.

Por supuesto, estos argumentos son basados en un modelo idealizado bastante simple. Aún así, este razonamiento explica los diferentes resultados observados al llevar a cabo reformas de mercado en el Este de Europa por un lado, y China y Vietnam por el otro.

En el Este de Europa, las reformas fueron conducidas por medidas de “terapias de shock”: las economías nacionales fueron “abiertas” a las actividades comerciales sin la creación preliminar de instituciones de mercado dentro de los países. Los resultados de fuga de capital y colapso de la producción fueron catastróficos.

En China y Vietnam, un orden inverso fue implementado: primero, se liberaron los capitales dentro del país y después se fue abriendo gradualmente el mercado a los competidores, en concordancia, más o menos, con el proceso de creación de un mercado doméstico. El resultado de dicha política fue un crecimiento económico increíblemente rápido.

Sistemas con restricciones sobre el ingreso

Considérese otro caso, suponga que un sistema con una restricción sobre el ingreso interactúa con uno de libre mercado.

Sea ahora una comunidad de N trabajadores con ingreso individual fijo w que tiene v vacantes. Como ya se ha visto, para w fijo, la temperatura del sistema es negativa para $v > N/2$.

Esto significa que el estado atractor del libre mercado es aquel en el que la mitad de los trabajadores no tuvieran salario, es decir, fueran desempleados, debido a que éste es un estado mucho más probable que otros con tasas más bajas de desempleo. Entonces, este modelo incluye el desempleo como una característica inherente del sistema en el estado más probable. Así, bajo algunas restricciones, el desempleo es inevitable, lo cual explica, por ejemplo, porque en las regiones dedicadas a la maquila o la minería -en donde no hay gradientes significativos en los salarios- siempre existe desempleo sin importar la capacidad productiva de la región.

Para la escuela neo-clásica de economía, la siguiente famosa paradoja forma un obstáculo insalvable: *¿por qué el equilibrio de mercado no se puede realizar cuando la fuerza laboral de dicho mercado está en operación*[95]. En éste modelo, esta paradoja es desechada.

Una temperatura negativa también puede emerger en el sistema con restricciones por encima del salario. De hecho, para incrementar el valor total de los sueldos en la situación de una economía de salario restringido con el salario cuya cota superior es w , la temperatura

$$\tau = \frac{1}{\partial\sigma/\partial M} \quad (2.20)$$

es negativa, al menos para algún intervalo $M_0 < M < Nw$, es decir, para

cualquier contacto con una economía de libre mercado, el valor total de los sueldos caerá, por lo menos, hasta M_0 .

Más aún, si existe un mínimo valor de salario B , el número de empleados va a estar limitado por $v = \frac{M_0}{B}$

Esta restricción mantendrá el salario a cambio de cierta tasa de desempleo dada por

$$\frac{N - v}{N} = \alpha \quad (2.21)$$

En la realidad, el nivel del salario siempre se encuentra acotado “por abajo” debido al nivel de supervivencia biológica -al menos en ciudades donde los recursos de la naturaleza son inalcanzables. Por consiguiente, si el salario es limitado, se crean las condiciones y la oportunidad para el desempleo. De hecho, uno de los grandes problemas en la Comunidad Europea es que una parte significativa de su población prefiere vivir de la asistencia social que obtener ingresos a cambio de su trabajo. Si esto sucede para todos los estratos económicos, se reproducen los mismos resultados.

Así, éste análisis muestra que el desempleo emerge en el estado de equilibrio a una temperatura positiva si los salarios son limitados de manera simultánea por debajo y por encima.

La cota superior puede ser considerada como una prueba de los argumentos Keynesianos sobre las razones del desempleo. En situaciones reales, la administración aspiraría a poner un límite sobre el salario “por debajo”, mientras que las compañías lo harían “por arriba”. Esta combinación *debe*, de acuerdo con nuestro modelo, resultar en la emergencia del desempleo.

2.6. Migración y salarios

En la sección anterior se mostraron algunas aplicaciones de este enfoque y se hizo la interpretación económica de varios parámetros termodinámicos.

Hasta ahora, sólo se ha hecho referencia a economías en donde cada una de ellas posee un valor estacionario de agentes económicos, aunque en algunas economías no es común que esto suceda, debido a la migración constante de los individuos entre diferentes regiones y sistemas. Más aún, en la mayoría de las situaciones existen propiedades relevantes en el flujo de dinero y mercancía que pueden ser incluidas en el análisis si se permite la fluctuación y el intercambio de agentes y mercancías entre los sistemas.

En un sistema abierto existe un flujo o corriente de materia -individuos en este caso- que atraviesa sus límites y que modifica su densidad de población y/o su composición. El contenido energético de un sistema abierto no sólo se modifica en los intercambios de energía, sino también su masa y volumen se alteran. De la misma manera, en una economía, siendo esta abierta, el ingreso total se modifica y también el número de individuos que se encuentran participando en ellas.

Propiedades individuales parciales

Con el fin de disminuir las hipótesis y enriquecer el modelo, aquí se introduce el *potencial de migración* como el parámetro que puede describir estados estacionarios del sistema cuando el número de agentes económicos no es fijo³.

Considere un sistema formado por varios agentes con temperatura económi-

³Para revisar algunos conceptos matemáticos se puede consultar el Apéndice

ca τ . Cantidades tales como el ingreso y la entropía (llamadas extensivas) dependerán de τ , p y de los números de agentes n_1, n_2, \dots, n_c , de sus componentes

$$J = J(\tau, p, n_1, n_2, \dots, n_c) \quad (2.22)$$

Si el tamaño del sistema se incrementa en el factor λ , mientras τ , p y la composición relativa permanecen fijas, J crecerá en la misma proporción.

Considere dos sistemas⁴, suponiendo que el número total de sus agentes es constante⁵, $N_1 + N_2 = N$, pero los agentes pueden migrar de un sistema a otro. Considere también el siguiente problema: *¿bajo que condiciones estos dos sistemas podrían encontrarse en el mismo estado?*

Aplicando la técnica estándar, es posible encontrar cuándo la entropía de dos sistemas interactuando, caracterizado por las restricciones sobre el monto total del ingreso y el número total de agentes, va a ser máxima. La entropía total es la suma de las entropías de los dos sistemas. Como resultado de $dN_1 = -dN_2$ y $dM_1 = -dM_2$, derivados de $dN = 0$ y $dM = 0$, se obtienen dos condiciones como corolario

$$\frac{\partial \sigma_1(N_1, M_1)}{\partial N_1} \Big|_{M_1} = \frac{\partial \sigma_2(N_2, M_2)}{\partial N_2} \Big|_{M_2} \quad (2.23)$$

y

$$\frac{\partial \sigma_1(N_1, M_1)}{\partial M_1} \Big|_{N_1} = \frac{\partial \sigma_2(N_2, M_2)}{\partial M_2} \Big|_{N_2} \quad (2.24)$$

donde el factor $\mu = -\tau \frac{\partial \sigma(N, M)}{\partial N} \Big|_M$ será llamado potencial de migración.

Cuando las temperaturas son iguales, los dos sistemas en contacto difusional, es decir, cuando la migración de agentes de un sistema a otro es permitida, se encuentran en el estado más probable si sus potenciales de migración son iguales.

⁴Se escogieron dos por simplicidad, aunque podría ser cualquier número finito

⁵Si se considera que el total de agentes casi no varía en periodos cortos

Como δN_1 agentes del segundo sistema migran al primero, el cambio en la entropía será el siguiente:

$$\delta\sigma = \delta\sigma_1 + \delta\sigma_2 = \left. \frac{\partial\sigma_1}{\partial N_1} \right|_{\delta N_1} + \left. \frac{\partial\sigma_2}{\partial N_2} \right|_{\delta N_2} = \left(\frac{\mu_2}{\tau} - \frac{\mu_1}{\tau} \right) \delta N_1 \quad (2.25)$$

dado que $\delta N_2 = -\delta N_1$, $\delta N_1 > 0$

Éste resultado aclara lo que pasa con el sistema si los potenciales de migración no son iguales. Si $\mu_2 < \mu_1$, el cambio en la entropía al incrementar el número de agentes en el primer sistema es positivo, luego, existe un cambio de estado hacia la probabilidad máxima. En otras palabras, el flujo de los agentes procede desde el sistema con el potencial de migración más alto hacia el sistema con el menor potencial.

Ahora, es posible encontrar la probabilidad relativa de varios estados para el sistema interactuando con un SIFIC e intercambiando ingreso, agentes o ambos. En la misma forma que antes, se obtiene

$$\frac{\phi_Y(M_1, N_1)}{\phi_Y(M_2, N_2)} = \exp[\sigma(M - M_1, N - N_1) - \sigma(M - M_2, N - N_2)] \quad (2.26)$$

donde (M_1, N_1) y (M_2, N_2) son diferentes estados del subsistema Y , interactuando con la economía controlada, mientras M y N son, respectivamente, el ingreso total y el número de agentes total en el sistema integrado con el subsistema Y y la economía controlada.

A través de la expansión por series de Taylor y después de algunas simplificaciones se obtiene

$$\frac{\phi_Y(M_1, N_1)}{\phi_Y(M_2, N_2)} = \frac{\exp[(\mu N_1 - M_1)/\tau]}{\exp[(\mu N_2 - M_2)/\tau]} \quad (2.27)$$

Lo cuál significa que la probabilidad para el subsistema Y de intercambiar ingreso y agentes con el SIFIC es proporcional a alguna constante que normalice los indicadores monetarios.

Un primer vistazo daría la impresión de que siempre se necesitan hipótesis de este tipo en el estudio de las propiedades de sistemas ideales. El mismo problema se observa en la física estadística, aunque ahí, ciertamente, no pueden encontrarse sistemas absolutamente cerrados, la teoría “funciona” de manera adecuada.

En sistemas económicos reales, el número de agentes es, por supuesto, mucho más pequeño que el número de partículas involucradas en sistemas físicos, sin embargo, la expectativa del error no es mucho mayor.

Anteriormente, fue introducido un concepto por demás útil: la función de partición, la cual se calcula como

$$Z = \sum_{N=0}^{\infty} \sum_k \exp[N\mu - M_k(N)/\tau] \quad (2.28)$$

Esta suma permite obtener, sin mucho esfuerzo, algunos parámetros importantes del sistema. Así, diferenciando con respecto a Z , puede ser encontrado el número promedio de agentes del sistema.

Sea $\lambda = e^{\mu/\tau}$. Entonces la función de partición toma la forma

$$Z = \sum_{N=0}^{\infty} \sum_k \lambda^N e^{-M_k/\tau} \quad (2.29)$$

Luego, de Landau[72] se deduce que el promedio de agentes es igual a

$$\bar{N} = \lambda \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln Z \quad (2.30)$$

Esta relación es muy importante, ya que provee una forma para determinar λ en los sistemas investigados considerando como N al número de agentes en el sistema.

A continuación se muestra un ejemplo de economía con migración, con la intención de ilustrar la aplicación del potencial.

Considere dos sistemas: A y B , con N_A y N_B vacantes, respectivamente, con un total de N agentes capaces de migrar libremente entre los dos sistemas. Considere que el ingreso *per capita* en A es M_A y en B es M_B . Además, suponga que ambos sistemas se encuentran inmersos en un sistema mucho más grande, por ejemplo, en un SIFIC con temperatura τ .

Una pregunta interesante podría ser: ¿de que forma dependen las probabilidades de ser ocupadas las vacantes de los parámetros del modelo? Para responder a esto, basta usar la función de partición, a través de la cual es posible obtener fácilmente las funciones de distribución de los agentes para A y B .

Ahora imagine que una vacante del sistema A es aislada como un subsistema. Suponiendo que el subsistema se encuentra en equilibrio con la parte remanente del sistema, es posible determinar la función de partición del subsistema. Como el subsistema sólo puede estar en uno de los posibles estados, con ingreso 0 (el estado vacío) y con ingreso M_A , la función de partición es igual a

$$Z_A = 1 + \lambda e^{-M_A/\tau} \quad (2.31)$$

donde $\lambda = e^{\mu/\tau}$.

De manera similar para el sistema B

$$Z_B = 1 + \lambda e^{-M_B/\tau} \quad (2.32)$$

donde $\lambda = e^{\mu/\tau}$.

Como se ha supuesto que A y B se encuentran en el mismo estado y, por consiguiente, sus potenciales de migración son iguales, entonces λ es el mismo para ambos sistemas, por lo que la probabilidad de que una vacante

en el sistema A sea ocupada, dada la temperatura τ , es igual a

$$P(A|\tau) = \frac{\lambda e^{-M_A/\tau}}{1 + \lambda e^{-M_A/\tau}} \quad (2.33)$$

y, de manera análoga, para B

$$P(B|\tau) = \frac{\lambda e^{-M_B/\tau}}{1 + \lambda e^{-M_B/\tau}} \quad (2.34)$$

y $\frac{P(A|\tau)}{P(B|\tau)}$ es igual a

$$\frac{P(A|\tau)}{P(B|\tau)} = \frac{e^{-M_B/\tau} + \lambda}{e^{-M_A/\tau} + \lambda} \quad (2.35)$$

Dado que el número total de agentes en el sistema es igual a N_{tot} , se obtiene

$$N_{tot} = N_A P(A|\tau) + N_B P(B|\tau) \quad (2.36)$$

Ecuación de la cual se puede determinar el potencial de migración, sustituyéndolo en las expresiones para $P(A|\tau)$ y $P(B|\tau)$ y encontrando las probabilidades para los agentes de pertenecer a los sistemas A y B , respectivamente, si ambos se encuentran en el mismo estado. Resulta claro que como la temperatura de sistema controlado cambia, el potencial de migración también lo hace, debido a que la probabilidad relativa para el sistema conjunto $A + B$ de tener ingreso total M , depende del factor $e^{-M_A/\tau}$.

Considere ahora el caso en que el número de vacantes en los sistemas en cuestión son iguales y ambas están ocupadas casi por completo, es decir, tanto $P(A|\tau)$ como $P(B|\tau)$ se encuentran próximas a 1. Esto significa que se puede expandir $P(A|\tau)$ y $P(B|\tau)$ con respecto a $(\lambda e^{M_A/\tau})^{-1}$ y $(\lambda e^{M_B/\tau})^{-1}$. Por simplicidad, se hará solo para los términos de primer orden que después de simples cálculos resulta en

$$\frac{P(A|\tau)}{P(B|\tau)} = \frac{x \left(1 - \frac{\Delta}{N}\right) + 1}{x + \left(1 - \frac{\Delta}{N}\right)} \quad (2.37)$$

donde $N = N_A = N_B$ es el número de vacantes, $\Delta = 2N - N_{tot}$ es el número total de vacantes en el sistema económico integrado y $x = e^{\frac{M_A - M_B}{\tau}}$.

De la ecuación anterior se pueden distinguir dos casos:

1. Si $M_A - M_B$ es mucho más grande que la temperatura, la probabilidad se vuelve independiente del ingreso y tiende a $1 - \Delta/N$
2. Si la diferencia $M_A - M_B$ es pequeña, se tiene que

$$e^{\frac{M_A - M_B}{\tau}} \cong 1 + \frac{M_A - M_B}{\tau} \quad (2.38)$$

y

$$\frac{P(A|\tau)}{P(B|\tau)} = 1 - \frac{(M_A - M_B) \Delta}{2TN} \quad (2.39)$$

De esta manera, se hace evidente que los valores M_A y M_B son esenciales, pero que aún así, el cociente $(M_A - M_B)/\tau$ es determinado por el sistema controlado, es decir, por el “ambiente económico”.

Entonces, suponiendo que la economía controlada es un sistema de libre mercado y, por consiguiente, la temperatura en él es igual al ingreso medio, se exhibe claramente que encontrar la probabilidad relativa de empleo en dos sistemas, el cociente de la diferencia de salarios al salario medio en el ambiente, es fundamental.

Hasta ahora, se han considerado problemas de modelos simples con profundos resultados que muestran posibles caminos de planteamiento y resolución de diferentes problemas económicos. Claramente, se podrían avaluar sistemas más elaborados, por ejemplo, investigar el proceso de migración en economías interactuando caracterizadas por distintas restricciones sobre el ingreso. Tales modelos serían de particular importancia en el estudio de economías regionales.

Capítulo 3

El mercado y los precios

“La tierra es inocente de esta esterilidad en que quedaría adormecida si el hombre permaneciera ocioso. La tierra no había pecado, y si está maldita es a causa del trabajo del hombre maldito que la cultiva; no se le arranca ningún fruto y, sobre todo, el fruto más necesario, sino por la fuerza y entre trabajos continuos”. . . “Ahora bien, no nos confiemos de que los hombres sean vigilantes y hábiles, de que hayan cumplido bien con su deber, que puedan hacer fértil su tierra; es la bendición de Dios la que lo gobierna todo.”

-Michel Foucault

Histoire de la folie á l’age classique

En este capítulo se extenderá este enfoque al estudio de los mercados y los precios. Para este propósito, se considerará un modelo con una situación simplificada. Sin embargo, se han hecho las simplificaciones con precaución para no perder las características esenciales de la situación.

La primera intención es analizar como el monto del flujo de bienes y dinero influye en los precios del mercado. En el capítulo anterior se mostró que

si el flujo de dinero es constante, entonces es posible introducir a la distribución del ingreso en estado estacionario. Con la intención de implementar esto, es necesario conocer la entropía del sistema o su temperatura económica. Haciendo uso de esta última, es posible encontrar bajo que condiciones el sistema se encuentra en equilibrio con el entorno u otros sistemas.

Ahora, con la intención de hacer más realista el modelo y relajar los supuestos, se incorporará también el flujo de bienes. Luego, en lo que sigue, la discusión se centrará en como este parámetro adicional puede ser interpretado en términos de los precios. Más aún: se deduce la *ecuación de estado del mercado*, es decir, se encuentra la dependencia entre las cantidades de intercambio de bienes, el precio, el número de compradores y la temperatura económica.

3.1. El intercambio de bienes

Considere un concepto intuitivo de mercado y del equilibrio del mismo: éste puede ser caracterizado por la presencia de bienes que son vendidos y dinero que es gastado adquiriendo dichos bienes. Sea $Q(t)$ el monto de unidades de bienes vendidas por unidad de tiempo durante el cuál los compradores gastaron $M(t)$ unidades de dinero. Se dirá que el *mercado es estacionario* si $M(t)$ y $Q(t)$ convergen a algún valor real y se mantienen suficientemente cerca de dicho valor independientemente del tiempo y de todos los bienes que son vendidos, es decir, si no hay acumulación de bienes en las manos de los vendedores. Mientras el mercado funcione, los tratos son hechos, es decir, el intercambio de algunos bienes por algún monto de dinero.

En el mercado, es típico hallar el establecimiento de regulaciones para

la negociación, algunos tipos de tratos pueden no ser válidos moral, ética o legalmente, un ejemplo y regla general de este tipo de regulaciones es el ofertar un precio muy bajo o demasiado alto. El punto relevante para el análisis es que las regulaciones sobre las negociaciones no varían con el tiempo.

Obsérvese que aunque las regulaciones sobre el precio no sean fijadas oficialmente, de cualquier manera existen algunas reglas, por ejemplo, aquellas que aseguran cumplir o llevar a cabo los contratos. Sin duda, las reglas implican que podría presentarse un aparato de control cuyo propósito sea fortalecer las mismas. Por supuesto, en todos los mercados instituidos se han creado estos aparatos con la intención de imponer penas a aquellos que incumplan o violen ciertas reglas establecidas, a la vez que otorgan confianza en la garantía del cumplimiento de los contratos. En este sentido, el mercado es ciertamente una institución social organizada y no sólo una arena para el desempeño espontáneo de sus agentes.

3.2. Interacción de mercados con un único bien

Considere ahora un modelo con varios mercados coexistiendo y en condiciones de interactuar intercambiando recursos tales como bienes y dinero. El equilibrio de estos mercados es aquella situación en el cual cada uno de los mercados permanece igual, en ciertos aspectos esenciales, después de la interacción. Claramente, este puede no ser el caso para algunos valores de los montos de bienes y dinero, Q_i , M_i y Q_j , M_j , para cada sistema. Además, la interacción puede variar, es decir, incluir un intercambio sólo de dinero, sólo de bienes, o bien, de ambos.

Considere el caso más simple: cuando los valores de los montos de bienes

y de dinero son discretos, tal y como ocurre en el mundo real. Entonces

$$M_n = nM_0 \qquad Q_k = kW \qquad (3.1)$$

Adicionalmente, permítase a los valores de k y n ser suficientemente grandes, esto con la intención de hacer posible el tratamiento de pequeños cambios en los flujos y hacer de estos cambios insignificantes y diferenciables.

Sea N el número de compradores ¹ y suponga que el mercado es estacionario en este sentido.

El conjunto de los estados probables del mercado es aquél formado por el conjunto de todos los contratos permitidos por las reglas, es decir, todas las maneras posibles de distribución de los bienes entre los compradores. Examinemos el mercado con un sólo vendedor, siendo éste incapaz de influir en la capacidad de la tasa de llegada de bienes. Entonces, al igual que en los casos anteriores, al calcular la entropía se puede obtener información útil para el análisis. Es importante hacer notar que, en este caso, la entropía depende tanto de la expedición total de dinero M como del monto total de bienes adquiridos Q .

Varios estados del mercado pueden ser considerados como “legalizados” por las reglas de distribución de la oferta total de dinero y bienes entre los N compradores. Obsérvese que ahora el análisis se centra en el *mercado de los compradores*, así que no es necesario incluir en la entropía las distribuciones de bienes entre los vendedores².

¹El valor de N también podría indicar el número de transacciones, pero es más conveniente considerarlo como el número de compradores.

²Sin embargo, si se desea tomarlos en consideración, entonces es necesario incorporar en el modelo la distribución del dinero entre los vendedores, lo cuál es una tarea más complicada pero también posible.

Para determinar el precio, no es importante donde adquiere sus bienes el comprador. Lo que si es importante es cuantos bienes él (o ella) ha comprado y cuanto ha tenido que pagar a cambio por ellos. Luego, para el análisis del mercado de compradores, la entropía, debido a la presencia de muchos vendedores en el mercado, no es considerada.

También podrían haberse contado el número de contratos, en vez del número de vendedores y compradores por separado. Aunque este caso requiere introducir el potencial de migración correspondiente al posible cambio del número de contratos. De hecho, este caso será considerado más adelante.

3.3. El precio: una propiedad emergente

El precio es una característica que indica si dos sistemas interactuando pueden o no encontrarse en el mismo estado independientemente de su temperatura. Como seguramente se recordará, sólo es posible establecer cadenas económicas con gradientes en precios, por lo que es posible que este concepto sea de ayuda en la elaboración de políticas de redistribución del ingreso, de fortalecimiento en materia de seguridad social y en el establecimiento de principios niveladores de tipo fiscal.

Aquí la noción de precio es introducida como

$$P = \tau \frac{\partial \sigma}{\partial Q} \quad (3.2)$$

La ecuación (3.2) indica que el precio se fija como el producto entre la temperatura económica y el cambio en la entropía al variar la cantidad de productos vendidos.

Para explicar esta definición, considere el caso más simple: el de libre mercado. En este modelo no existen restricciones sobre la distribución de los

bienes o el dinero entre los consumidores. Esto significa que el comprador puede pagar *cualquier precio*, incluyendo los infinitesimalmente bajos o altos.

El libre mercado es particularmente fácil de estudiar, porque el número total de estados probables del mercado es el producto del número posible de distribuciones de bienes entre los agentes del mercado con el número de posibles distribuciones de dinero entre los mismos agentes. Por consiguiente, los pesos estadísticos del sistema son obtenidos al multiplicar los pesos estadísticos determinados por el flujo de bienes Q y dinero M . De esta manera, la entropía del sistema (el logaritmo de los pesos estadísticos) consiste de dos componentes: uno, determinado por el flujo de los bienes, y el otro, por el flujo de dinero, de tal forma que

$$\sigma = (M, Q) = \sigma(M) + \sigma(Q) \quad (3.3)$$

En general, se considerará que tanto el flujo de dinero como el de bienes puede ser cuantizado, como en (3.1). Entonces es posible derivar la ecuación de estado para este sistema. Para este fin, primero es necesario calcular el número probable de distribuciones de flujo de bienes y dinero entre los N agentes del mercado, el peso estadístico $g(M_n, N)$ del flujo M_n , distribuido entre N agentes es igual al número de soluciones no-negativas de la ecuación

$$n = x_1 + \dots + x_N \quad (3.4)$$

La técnica para calcular tales ecuaciones es bien conocida, si se agrega un 1 a cada x_i , entonces la cantidad a ser determinada es el número de las posibles soluciones enteras positivas de la ecuación

$$n + N = y_1 + \dots + y_N \quad (3.5)$$

Ahora, si se subdivide el segmento entero de medida $n + N$ en N sub-

segmentos enteros, el peso estadístico es igual

$$g(M_n, N) = C_{n+N-1}^{N-1} = \frac{(N+n-1)!}{(N-1)!n!} \quad (3.6)$$

Para n y N suficientemente grandes, la formula de Stirling muestra

$$g(M_n, N) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{(N+n-1)^{N+n-\frac{1}{2}}}{(N-1)^{N-\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}} \quad (3.7)$$

$$\text{Así, } \sigma(M_n) = \ln g(M_n, N) \approx (N+n-1)\ln(N+n-\frac{1}{2}) - (N-1)\ln(N-\frac{1}{2})$$

$$\approx (N-\frac{1}{2}) - \frac{1}{2}\ln 2\pi \quad (3.8)$$

La temperatura económica τ es calculada en términos de $\frac{\partial\sigma}{\partial M}$:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial\sigma(M_n)}{\partial n} \approx \frac{1}{\epsilon} \ln \frac{N+n-\frac{1}{2}}{n+\frac{1}{2}} \quad (3.9)$$

Para $n > N$, lo cual es una condición bastante natural para el libre mercado, la expresión para el inverso de la temperatura es

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\partial\sigma(M_n)}{\partial n} = \frac{1}{\epsilon} \frac{N}{n} = \frac{N}{M} \quad (3.10)$$

Esto significa que la temperatura $\tau = \frac{M}{N}$ es igual al valor medio del ingreso per capita.

El cálculo de $\frac{\partial\sigma}{\partial Q}$ es un asunto completamente análogo dado que la entropía σ puede ser descrito como la suma de dos términos, uno de los cuales sólo depende de M y el otro de Q

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial\sigma(Q_k)}{\partial Q_k} = \frac{1}{W} \frac{N}{k} = \frac{N}{Q} \quad (3.11)$$

Obteniendo así una relación entre el precio marginal, el flujo de bienes y la temperatura del libre mercado dada por la forma:

$$P = \tau \frac{N}{Q} \quad (3.12)$$

Como $TN = M$, es fácil mostrar que para el libre mercado el precio marginal es igual al precio medio. Lo que a su vez permite definir el precio como

$$P = \tau \frac{\partial \sigma}{\partial Q} \quad (3.13)$$

En presencia de restricciones sobre el precio, el precio marginal puede desviarse del medio, siendo el mercado sin restricciones un caso idealizado.

Aunque se pudiera tener la impresión de que se están reproduciendo los argumentos de la física estadística teniendo sólo cambios semánticos, esto no es cierto, ya que aunque el precio marginal coincide en su forma con la expresión para la presión en mecánica estadística³, esta expresión *no* es la definición de la presión⁴.

Como base de los argumentos, el precio marginal tiene el mismo origen que la temperatura económica o el potencial de migración, es decir, la teoría esta completamente derivada de los principios termodinámicos. El precio marginal es el parámetro de estados de equilibrio, idéntico a la temperatura e indica si pueden o no estar en equilibrio los sistemas interactuantes. De hecho, siguiendo el mismo patrón de razonamiento llevado a cabo en la introducción de la temperatura, se puede probar que dos sistemas interactuando son capaces de alcanzar un estado estacionario sólo cuando los precios marginales para sus bienes son iguales. De igual manera y ya que los pesos estadísticos dependen de los flujos de bienes y dinero, M y Q , mientras

³La cual se obtiene de la forma $P = \tau \frac{\partial S}{\partial V}$

⁴El origen de la presión es diferente mecánica y físicamente, y se define como $-\frac{\partial I}{\partial V}$.

que los valores totales de ambos parámetros son constantes⁵

$$M_1 + M_2 = M_{tot} \quad (3.14)$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_{tot} \quad (3.15)$$

Por lo cual el peso estadístico del sistema combinado es

$$g_1(M_1, Q_1)g_1(M - M_1, Q - Q_1) \quad (3.16)$$

Y la probabilidad del estado se vuelve un máximo cuando la función alcanza su máximo. Introduciendo la entropía como el $\ln g$, las condiciones para la entropía máxima se expresan como

$$\left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial M_1} dM_1 + \frac{\partial \sigma_1}{\partial Q_1} dQ_1 \right) + \left(\frac{\partial \sigma_2}{\partial M_2} dM_2 + \frac{\partial \sigma_2}{\partial Q_2} dQ_2 \right) = 0 \quad (3.17)$$

Teniendo en cuenta que $dM_1 = -dM_2$ y $dQ_1 = -dQ_2$, se pueden expresar las condiciones de equilibrio como sigue:

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial M_1} \Big|_{Q_1} = \frac{\partial \sigma_2}{\partial M_2} \Big|_{Q_2} \quad (3.18)$$

y

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial M_1} \Big|_{M_1} = \frac{\partial \sigma_2}{\partial M_2} \Big|_{M_2} \quad (3.19)$$

La primera expresión, como ya se ha discutido, significa la coincidencia de la temperatura, el segundo la de los precios marginales.

De esta manera, la coincidencia de los valores de los precios marginales es una condición necesaria -más no suficiente- para que los sistemas interactuando puedan encontrarse en el mismo estado.

Ahora, se puede proceder a analizar el caso cuando no se posee una estructura de libre mercado, es decir, algunas restricciones son impuestas

⁵Al hablar sobre el flujo, deseamos referirnos a su capacidad de expedición por unidad de tiempo.

sobre su operación. Investiguemos primero ¿Qué pasaría si algo similar a una “localización del sistema” fuera adoptado? Es decir, si las posibilidades de comprar bienes fueran duramente restringidas. Es importante recordar que el análisis se hace sobre el supuesto de que el mercado es estacionario, lo que significa en este caso que los flujos de bienes y dinero son completamente distribuidos entre los participantes del mercado.

Suponga que a ninguno de los agentes del mercado le es permitido adquirir mayor cantidad de un tipo de bienes que cierto monto k . Todas las otras variables relacionadas con la distribución permanecen libres y, esto es de vital importancia, no depende de la distribución del dinero, es decir, no existen restricciones explícitas sobre los precios. Esto significa que el peso estadístico del estado con Q bienes y M dinero es aún el producto de sus pesos estadísticos

$$g_N = (M, Q) = g_N(M)g_N(Q) \quad (3.20)$$

mientras que la entropía incluye dos componentes, de los cuales uno depende de M y el otro de Q

$$\sigma_N(M, Q) = \sigma_N(M) + \sigma_N(Q) \quad (3.21)$$

Para determinar el precio marginal, se debe conocer $\frac{\partial \sigma}{\partial Q}|_{M,N}$, es decir, es necesario calcular $\sigma_N(Q)$. Lo cual aparece como un difícil problema de análisis combinatorio: encontrar el número de soluciones enteras no negativas de la ecuación

$$m = x_1 + x_2 k - x_N \quad (3.22)$$

donde $x_i \leq k$ para cada i .

La solución a este problema es distinguido por una característica especial que brinda significativas conclusiones.

Claramente, si $m > kN$ este problema no tiene solución. El logaritmo del número de soluciones es la entropía del sistema $\sigma_N^k(Q_m)$. Lo cual significa que cuando el flujo de bienes m se aproxima a kN desde abajo, entonces, en algún punto la entropía comienza a decrecer.

Pero esto significa que $\frac{\partial \sigma(Q_m)}{\partial Q}$ se vuelve negativo. Tomando en cuenta que la distribución del flujo de dinero es libre, lo cual implica temperatura positiva, el resultado es que, bajo restricciones, el precio marginal del sistema se vuelve negativo cuando el volumen del flujo de bienes se vuelve suficientemente grande. Esto significa que durante la interacción con otros sistemas con precio marginal positivo, el sistema localizado con restricciones impuestas sobre el consumo de bienes comenzará a “repeler” los bienes con precios muy por debajo de su costo: cualquier precio por encima de cero de los bienes exportados contribuirá a la estabilización del equilibrio.

Por supuesto, es posible decir que, cuando el flujo de bienes es cercano al valor de kN , no tiene sentido el restringir la distribución. De cualquier forma, el hecho es que el precio marginal puede volverse negativo mucho antes de que el flujo de bienes se aproxime al valor crítico kN .

Dado que la introducción de restricciones tales como en nuestro ejemplo depende de decisiones políticas, la siguiente pregunta surge de manera natural:

¿Cómo pueden aprender las personas responsables de hacer tales decisiones a reconocer cuando el precio marginal ya se ha vuelto negativo?

En realidad, el precio de las transacciones del mercado es positivo y el precio medio también es positivo. Para saber que tan lejos se encuentra del estado de equilibrio un sistema que interactúa con otros sistemas, es necesario calcular ciertos parámetros, no directamente observables, como la temperatura y la derivada de la entropía con respecto al flujo de bienes.

Como ha sido mostrado, este problema es bastante difícil de tratar, incluso para un modelo simple. Por otro lado, se puede observar que las restricciones impuestas sobre el mercado pueden crear, en el rango de los estados del sistema, una zona de latente inestabilidad que denominaremos *zona de riesgo*.

Considere ahora que estas zonas de riesgo pudieran emerger a partir de diferentes decretos, por ejemplo, acotando el salario desde abajo, es decir, imponiendo precios mínimos. Este modelo es muy importante porque en las economías liberales fuertemente competitivas los bienes no se venden, en gran escala, a un precio por debajo del costo de producción. Si en este modelo el precio de cierto bien es acotado por abajo, entonces la entropía del sistema ya no puede ser descrita como la suma de dos componentes, cada uno dependiendo de una sola variable.

Ahora, el problema matemático para calcular la entropía es determinar $\ln g_N(M, Q_m, \delta)$, donde δ es un parámetro acotando los precios por debajo y $g_N = \sum g_N(k, n)$, donde $g_N(k, n)$ es el número de soluciones enteras positivas de la ecuación

$$m = x_1(y_1) + x_2(y_2) + k + x_n(y_n) \quad (3.23)$$

En la ecuación(3.22) y_n es una partición arbitraria del número n en N enteros no negativos y $x_i(y_i) = 0$ para $m_i = 0$ y $x_i(m_i) < m_i/\lambda$ para $m_i > 0$ ⁶.

Este es un problema aún más difícil de calcular, pero, como en el caso previo, algunas dependencias cualitativas pueden ser descubiertas relativamente fácil. Si se incrementa el flujo de bienes pero el de dinero no lo hace simultáneamente, el problema no tiene solución. De hecho, cualquier precio

⁶Aquí x es el número permitido de bienes en un contrato, mientras que m es el correspondiente monto de dinero.

posible permanece por debajo del nivel permitido una vez que $Q_{k,m}$ es suficientemente grande para x_i donde $m_i \leq n$ y n es tal que $n\epsilon = M$, es decir, la entropía $\sigma_N^\lambda(M, Q)$ desaparece.

Como en el modelo previamente dado, el precio marginal se vuelve negativo antes de eso debido a que la distribución del flujo de dinero es libre y la temperatura positiva, pero la derivada de $\sigma_N^\lambda(M, Q)$ con respecto a Q , para valores más pequeños pero cercanos a Q_k , se vuelve negativa. Entonces, se observa el mismo efecto que se experimentaba bajo las restricciones sobre los bienes, es decir, una zona de riesgo con un precio marginal negativo, lo cual conlleva las mismas consecuencias: una salida de bienes del sistema para llevar al mismo al equilibrio.

Aparentemente, esto explica el fenómeno de destrucción masiva de bienes con la intención de mantener el nivel de precios durante las crisis de sobreproducción. Esta actitud podría no ser del todo malintencionada, sino simplemente la vía más corta al estado más probable: destruyendo los productos que no fueron vendidos, las empresas obtienen menos pérdidas que bajando los precios.

Como producto de estos argumentos, se puede ver que al introducir restricciones sobre el sistema, se provocan zonas de riesgo. Los bordes de estas zonas son extremadamente difícil de discernir, pero existen técnicas para aproximarlas con cierto grado de confianza. Parámetros tales como la entropía, la temperatura y el precio marginal son cruciales para la descripción del comportamiento de sistemas con restricciones después de que hayan sido puestas en interacción con otros sistemas similares o de libre mercado.

De aquí se desprende que el precio marginal se vuelve un parámetro de suma importancia, de hecho, el parámetro principal del equilibrio de mercado, el cual coincide con el precio medio sólo en sistemas en competencia

perfecta. Asimismo, en sistemas con restricciones puede volverse negativo, en cuyo caso, el sistema se vuelve de alto riesgo.

De esta manera, las restricciones sobre la actividad económica no pueden, de ninguna manera, ser sostenidas como “inofensivas”. Entonces, el mantener el sistema libre de restricciones es inofensivo porque su rango de influencia, dentro del cual ésta hace al sistema inestable, no es nada claro.

Observe que las tan llamadas “razones económicas” para implementar varias restricciones sobre los contratos están fuera, en un profundo escrutinio, de razones puramente políticas: frecuentemente el costo de producción no puede ser bajado gracias al monopolio o un control político del mercado. En otras palabras, las restricciones impuestas sobre estructuras de competencia perfecta son capaces de generar incertidumbres en el sistema en vez de, como los políticos suelen pensar y actuar⁷, hacerlos más predecibles.

Este tipo de análisis con restricciones sobre los precios se encuentra relacionado con un problema de considerable interés en teoría económica. En 1970, G. Akerloff[1] publicó un artículo que muy pronto obtuvo mucha popularidad y el cual trataba sobre los mercados con información asimétrica, es decir, aquellos donde el vendedor y el comprador tienen diferentes oportunidades para estimar la calidad del producto en venta y por tanto para fijar el precio.

Akerloff[2] mostró, sosteniendo fuertemente su teoría en publicaciones posteriores, que para mercados asimétricos: la presencia de bienes de baja calidad y vendedores deshonestos puede resultar no sólo en el desplazamiento del mercado de los bienes de alta calidad, sino también puede resultar en el colapso del mercado como tal.

⁷Sobre todo durante las campañas electorales.

Brevemente, la idea de Akerloff es la siguiente: suponga que un artículo -un carro usado, por ejemplo- puede parecer de baja calidad con cierta probabilidad θ y por consiguiente como de alta calidad con probabilidad $1 - \theta$. Supone también que el comprador conoce *a priori* -en algún sentido- dicha probabilidad, ya que θ , por ejemplo, puede reflejar el índice ordinario de producción rechazada por la fábrica dedicada a este tipo de bienes. Pero el vendedor en cuestión, sabe mucho mejor ésta información sobre el artículo particular. Entonces, el comprador solo sigue las opiniones generales concernientes a dicho tipo de bienes, por ésta razón, el vendedor del carro en buen estado de segunda mano rara vez se encuentra en condiciones de obtener un precio justo por él: el comprador quiere asegurarse contra el vendedor deshonesto. En cambio, el vendedor del carro en mal estado, disfruta de todas las oportunidades de obtener por él más dinero que el precio realmente justo. Teniendo como consecuencia que los carros buenos sean desplazados del mercado y que en el mismo dominen los malos.

Usando la técnica estándar de las funciones de utilidad, Akerloff ha mostrado que, bajo ciertas condiciones, el equilibrio puede ser inaccesible, por ejemplo, cuando la gráfica de dependencia de la oferta contra los precios no cruza a aquella de la demanda, e interpreta el problema de los mercados asimétricos ligándolo con la Ley de Grasham, de acuerdo con la cual el dinero “malo” saca al “bueno” de circulación. Las conjeturas de Akerloff, como una aproximación, dan una oportunidad para estimar las pérdidas del mercado debido a tratos deshonestos y concluye: el precio del comportamiento deshonesto asciende no sólo a las pérdidas del comprador, sino también en el debilitamiento de los negocios honestos.

El modelo con restricciones sobre los precios por debajo discutido con anterioridad, arroja, desde nuestro punto de vista, luz nueva sobre el proble-

ma de los mercados asimétricos. Pensamos también que Akerloff ha probado, más que la posibilidad del colapso de dichos mercados, la imposibilidad de aplicar las técnicas estándar del equilibrio usadas en el análisis neoclásico. De hecho, incluso en un caso asimétrico, el flujo de contratos durará de cualquier forma pero el estudio del estado del mercado, la definición de equilibrio, basada en las nociones de la mecánica estadística, parece ser más apropiada.

Para ilustrar lo anterior, considere dos mercados en interacción, uno con restricciones sobre los precios por debajo y el otro sin restricciones, por continuidad un mercado de carros usados.

Considere ahora un modelo con información asimétrica, entonces, como se ha visto, un mercado con restricciones sobre el precio por debajo es un precio de carros buenos, mientras que uno sin restricciones es un mercado con circulación de carros defectuosos⁸. Como se mostró anteriormente, para ciertos valores de los parámetros de flujo de bienes y temperatura del mercado -de hecho, a baja temperatura, el precio marginal en el mercado con restricciones, es decir, en el mercado de los carros buenos, se vuelve negativa. Esto significa que el mercado está colapsándose. Pero el colapso actual sólo pasará a una temperatura bastante baja. A altas temperaturas, el mercado de carros de alta calidad es absolutamente viable.

De esta manera, es posible hacer algunas enmiendas a las afirmaciones de Akerloff sobre el mercado de limones y las oportunidades para la operación de negocios honestos en países en desarrollo, donde los estándares de honestidad son bastante bajos.

El mercado de carros buenos estará frecuentemente colapsándose pero

⁸Akerloff utiliza como argot "limones".

no lo hará totalmente. De acuerdo con este modelo, el factor crucial se sitúa no en los estándares de honestidad sino en la baja temperatura del mercado. Si la temperatura no baja, el “mercado honesto”, es decir, aquel con restricciones sobre los precios por debajo, es bastante capaz de coexistir con el mercado de limones. Así, la única cosa que se necesita para mantener el mercado “vivo”, es que la temperatura del mercado de los carros buenos no se encontrara por debajo de cierto valor. Para entrar en más detalle, utilicemos la ecuación de partición, pero antes permítasenos hacer algunas observaciones.

Si nos olvidamos de los vendedores y los compradores y sólo se considera el monto de los contratos, de acuerdo con las consideraciones previas, ésta puede ser definida como

$$\tau = \frac{M}{N} \quad (3.24)$$

Ahora se introduce el concepto de *contratos potenciales*, el cuál significa la posibilidad de “cerrar un trato”, con el flujo de bienes $Q_j = jQ_0$ y flujo de dinero $M_k = kM_0$, donde Q_0 e M_0 son, respectivamente, los valores mínimos de flujo. Entonces, se pueden hacer algunas otras simplificaciones. Introduciendo un tiempo discreto etiquetado por τ_k , se puede asumir que los flujos de dinero y bienes sólo ocurren en momentos de tiempo discreto. Tal simplificación del mercado se parece al mercado de von Mises[105], lo que nos permite tratar cada contrato como un evento de único tiempo.

Manteniendo en mente el aspecto estadístico del modelo, luce bastante natural considerar al mercado como un conjunto de sistemas coexistiendo simultáneamente, cubriendo todos los tratos admisibles, y extraer promedios sobre el conjunto en vez de promediar sobre el tiempo.

Sea el potencial de contratos la cantidad $C(M_k, V_j)$ con parámetros M_k ,

y Q_j puede ser sustituido con un contenido real pero también puede permanecer vacío. Luego, ya estamos en condiciones de referirnos al conjunto de contratos potenciales, $C = (M_k, Q_j)$ sujeto a algunas restricciones, por ejemplo, los contratos con $\frac{M_k}{Q_j} < P_{min}$ pueden ser excluidos, lo cuál refleja la restricción sobre los precios por debajo, siendo P_{min} el menor precio permitido.

Ahora, utilizando la función de partición, si $N \ll nm$, donde n , m representan el monto total de bienes y dinero, respectivamente, entonces la estructura del mercado es de competencia perfecta: la “densidad de población” de cada contrato es bastante baja $\approx \frac{N}{nm}$, entonces se puede rechazar la probabilidad de que un contrato potencial pueda ser sustituido por dos contratos con M_k y Q_j iguales. Esto significa que, en la función de partición, pueden rechazarse los términos de grado ≥ 2 en λ .

Por lo anterior, la probabilidad para los contratos potenciales para ser sustituidos es dada por la ecuación

$$W(k, j) = \lambda e^{-\frac{M_N}{\tau}} \quad (3.25)$$

Si el número de contratos potenciales es igual a N , es posible encontrar λ debido a que N puede ser encontrado sumando sobre todos los valores de probabilidad $W(k, j)$ para todos los contratos potenciales

$$N = \lambda \sum_{k,j} W(k, j) \quad (3.26)$$

Definimos $C(k)$ como el número de contratos con M_k , entonces

$$\lambda = \frac{N}{\sum W(k, j)} \quad (3.27)$$

y dado que $\lambda = e^{\frac{\mu}{\tau}}$, donde μ es el potencial de migración, por lo que μ se

puede expresar como sigue

$$\frac{\mu}{\tau} = \ln \frac{N}{\sum W(k, j)} \quad (3.28)$$

luego, la entropía del sistema puede ser derivada de la ecuación

$$\frac{\partial \sigma}{\partial N} \Big|_{M, Q} = -\frac{\mu}{\tau} \quad (3.29)$$

Sustituyendo este valor por μ/τ , se encuentra que

$$\sigma = - \int_0^N \frac{\mu}{\tau} dN = \int_0^N \ln N dN + N \ln \sum_{k, j} W(k, j) \quad (3.30)$$

ó

$$\sigma = -N \ln N + n + N \ln \sum_{k, j} W(k, j) \quad (3.31)$$

Ahora, diferenciando la entropía con respecto a la cantidad Q , es posible derivar la ecuación de estado

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial \sigma}{\partial Q} \Big|_{M, N} \quad (3.32)$$

Lo anterior requiere calcular $\phi(\tau, Q|M_0)$. Para este fin, primero, considere un caso ya discutido, aquél sin restricciones sobre los precios

$$\phi(\tau, Q|M_0) = \sum_{k=1}^{\infty} C(k) e^{-\frac{kM_0}{\tau}} \quad (3.33)$$

Dado que existe un cierto número definido $m = Q/W$ de contratos potenciales que pueden ser llenados para cada Mk , $C(k) = m$. Con la intención de simplificar los cálculos, se asume que n es bastante grande ($M = n\epsilon$) y el límite superior de la suma es igual a ∞ . De esta manera se obtiene

$$\phi(\tau, Q|M_0) = \frac{Q_0}{Q} \frac{e^{-\frac{M_0}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{M_0}{\tau}}} = \frac{Q_0}{Q e^{-\frac{M_0}{\tau}} - 1} \quad (3.34)$$

De lo cuál se obtiene como resultado

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial \sigma}{\partial Q_{M,N}} = N \frac{\partial}{\partial Q} \ln \phi(\tau, Q | M_0) = \frac{N}{Q} \quad (3.35)$$

Si se analiza que pasa con $\phi(\tau, Q | M_0)$ cuando los precios son limitados por debajo, se puede ver que el número de contratos potenciales $C_k(M_k, P_{min})$ ahora depende de M_k y el precio mínimo P_{min} de la forma

$$C_k(M_k, P_{min}) = \sum_{k=1}^{\frac{kM_0}{WP_{min}}} 1 = \frac{kM_0}{WP_{min}} \quad (3.36)$$

En este caso $\phi(\tau, Q | M_0)$ se divide en dos componentes: Uno de ellos se obtiene a través de la suma hasta $k = \frac{mWP_{min}}{M_0}$, así $C_k(M_k, P_{min}) = \frac{kM_0}{WP_{min}}$.

Para estos valores de k , el número de contratos potenciales depende de k , por lo que para k grande, tal dependencia desaparece si suponemos que el monto de dinero usado en cualquier contrato potencial es suficiente para asegurar cualquiera de los $m = Q/W$ posibles valores de bienes adquiridos, así

$$\begin{aligned} \phi(\tau, Q | M_0) &= \sum_{k=1}^{\frac{QP_{min}}{M_0}} C_k(M_k, P_{min}) e^{-\frac{kM_0}{\tau}} + \sum_{k=\frac{QP_{min}}{M_0}}^{\infty} m e^{-\frac{kM_0}{\tau}} \\ &= \sum_{k=1}^{\frac{QP_{min}}{M_0}} \frac{kM_0}{WP_{min}} e^{-\frac{kM_0}{\tau}} + \sum_{k=\frac{QP_{min}}{M_0}}^{\infty} \frac{Q}{W} e^{-\frac{kM_0}{\tau}} \end{aligned} \quad (3.37)$$

Que después de algunas simplificaciones se tiene

$$\phi(\tau, Q | M_0) = \phi(\tau | M_0) \left(\frac{M_0}{WP_{min}} - \frac{M_0}{WP_{min}} e^{-\frac{QP_{min}}{M_0}} \right) \quad (3.38)$$

donde

$$\phi(\tau | M_0) = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-\frac{kM_0}{\tau}} = \frac{e^{-\frac{M_0}{\tau}}}{\left(e^{-\frac{M_0}{\tau}} - 1 \right)} \quad (3.39)$$

Luego, al sustituir $\phi(\tau, Q|M_0)$ en la expresión para la entropía, la ecuación de estado toma la forma

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial \sigma}{\partial Q}_{M,N} = N \frac{\partial}{\partial Q} \ln \phi(\tau, Q|M_0) \quad (3.40)$$

ó

$$\frac{P}{\tau} = \frac{NP_{min}}{M_0} \frac{1}{e^{\frac{QP_{min}}{M_0}} - 1} \quad (3.41)$$

Si se observa con cuidado, la ecuación de estado puede resultar bastante interesante.

Por ejemplo, cuando $P_{min} < \frac{\tau}{Q}$, ésta se vuelve

$$\frac{P}{\tau} = \frac{N}{Q} \quad (3.42)$$

Pero si se impone una restricción sobre el precio, incluso una muy pequeña, la ecuación de estado se transforma completamente. En el rango de una cantidad Q grande, el precio marginal P , es decir, el precio de equilibrio, se vuelve más pequeño que el precio mínimo del contrato, lo cual significa que el mercado se colapsa. Tal situación es equivalente a un precio marginal negativo para el libre mercado. Debe ser claro que si un precio menor es implementado con la condición de que la temperatura se encuentra limitada, los bienes no pueden ser vendidos en grandes cantidades debido a que esta acción implica $\Delta M < 0$ por cada transacción. Hay que aclarar que lo anterior no significa la ausencia de contratos, sino que este mercado no es sustentable y por lo tanto no pueden ser alcanzados estados estacionarios.

Si $\tau = \frac{M}{N}$, el precio mínimo es igual a P_{min} y $Q = \frac{M}{P_{min}} = \frac{TN}{P_{min}}$, en donde la parte de bienes equivalente a $\frac{Q-TN}{P_{min}}$ es imposible de realizarse.

Una observación precipitada puede llevar a la conclusión de que el volumen crítico de bienes, cuando el precio se encuentra limitado por debajo va

a caer en una vecindad de

$$Q_{\zeta} = \frac{TN}{P_{min}} \quad (3.43)$$

Pero este no es el caso: en realidad esta cantidad es considerablemente menor.

Suponiendo que

$$P = \frac{TN P_{min}}{M_0 e^{\frac{P_{min} Q_{\zeta}}{\tau}} - 1} > P_{min} \quad (3.44)$$

ó

$$\frac{TN}{M_0} > e^{\frac{P_{min} Q_{\zeta}}{\tau}} - 1 \quad (3.45)$$

se obtiene

$$Q_{\zeta} = \frac{M_0}{P_{min}} \ln \left(\frac{TN}{M_0} - 1 \right) \quad (3.46)$$

Como un resultado, en vez de $Q_{\zeta} = \frac{TN}{P_{min}} = \frac{nM_0}{P_{min}}$, Q_{ζ} es cercano a $\ln Q$, es decir, es más pequeño en varios órdenes de magnitud. Por consiguiente, el mercado se colapsa mucho antes de lo que parece en un primer vistazo.

Volviendo al mercado de limones, esto significa que el desplazamiento de carros buenos por los malos pasará incluso antes que en el cálculo bajo las hipótesis admitidas.

Claramente la información asimétrica, limita las “zonas de estabilidad” o “de bajo riesgo” del mercado a un tamaño bastante pequeño. De esta manera, éste análisis justifica las conjeturas de Hayek de que el mercado existe gracias a la cultura de los “negocios honestos” y sobrevive en el proceso de competencia de las “culturas de negocios”.

Lo anterior también señala la otra condición para la existencia de mercados con bienes y servicios de alta calidad. El mercado operando con bienes de alta calidad tiene que estar “algo separado” del mercado de bienes de baja calidad. De otra forma, con la afluencia de mercancías de alta calidad, el mercado se vuelve inestable.

Este modelo también muestra que debido a la oferta limitada de bienes de alta calidad, su mercado puede coexistir e interactuar con el mercado de los de baja calidad, pero sólo como el “mercado para la élite”, lo cual significa que fuera de sus bordes, el crecimiento del mercado es frenado por los defectos en el código de comportamiento mercantil. Como una alternativa a esta situación, se podría proponer la certificación de los bienes dentro de dicha economía. Que es lo que actualmente se encuentran haciendo las compañías que presentan productos de calidad.

3.4. Interacción de mercados con diversos bienes

Considere ahora el problema del equilibrio de mercado para dos mercados que comercian con dos tipos de bienes. El mercado con bienes reemplazables posee uno de los problemas más conocidos en la economía matemática. El estudio de tales mercados aceleró la revolución marginalista. En términos de la teoría neoclásica, para realizar esta tarea, es necesario definir las funciones de utilidad de los bienes, una función dependiente del volumen de los envíos. Cuando la derivada de la función de utilidad con respecto al volumen del envío decrece conforme éste crece, las técnicas de análisis clásico muestran que el beneficio alcanza su máximo.

Intuitivamente, esta es una afirmación plausible. Si, al gasto de una unidad monetaria por unidad de bienes, fuera posible incrementar la utilidad total de los bienes adquiridos reemplazando un artículo por otro, dicho reemplazo debe ser implementado hasta que la utilidad no caiga debido al incremento del volumen de bienes. Se ha visto que la dependencia de la utilidad sobre el volumen es bastante importante en términos de mantener la estabilidad del sistema: de otra forma todos los fondos podrían haber sido

invertidos sólomente en los bienes más útiles.

Estudiemos ahora el problema de los bienes reemplazables a la luz de este modelo. Claramente, tiene sentido hablar de reemplazo sólomente si existe cierta equivalencia entre los bienes y de no existir no es posible proceder. Entonces, suponiendo que dicha equivalencia existe en el modelo, es decir, n unidades del artículo 1 son equivalentes -no importa en que sentido precisamente- a m unidades del artículo 2. El estado de equilibrio es alcanzado en el estado más probable o, lo que es lo mismo, cuando la entropía alcanza su máximo. Para encontrar dicho máximo, se utiliza la relación de equivalencia entre los dos tipos de bienes, exactamente de la misma manera como fue hecho para un sólo tipo de bienes. Es importante observar que, como hipótesis, la relación de equivalencia no depende del flujo de bienes. Si toma lugar tal dependencia, también es posible deducir el equilibrio sólo que se vuelve un poco más laborioso.

Así, considerando un mercado con N agentes, con un flujo de dinero M y flujo de dos artículos, Q_A y Q_B , respectivamente. Para encontrar la entropía del sistema, es necesario contar el número probable de tratos, es decir, el número de formas de atribuir a cada agente cuatro números (M_A, M_B, Q_A, Q_B) que muestra cuanto dinero fue gastado por agente por unidad de tiempo en la adquisición de los bienes A y B , y cuantos bienes fueron comprados sobre el mismo periodo, respectivamente. Sumando sobre todos los agentes se obtienen los valores de los parámetros macroscópicos del sistema. Observe que para estimar el estado del sistema, no es suficiente el fijar simplemente el monto de dinero gastado por el i -ésimo agente porque algunos estados microscópicos podrían ser excluidos debido a, por nombrar alguno, una restricción de posprecios por debajo. En el caso general, la dependencia de la entropía sobre los parámetros macroscópicos no puede

ser representada como la suma de componentes dependientes de uno o dos parámetros. Aunque, para el libre mercado, esto si se cumple.

Considere el sistema con entropía $\sigma(M_A, M_B, Q_A, Q_B)$. Reemplazando M_A e M_B y sabiendo que $M_A + M_B = M$, resulta que

$$\delta\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial M_1}\delta M_1 + \frac{\partial\sigma}{\partial M_2}\delta M_2 = \delta M_1 \left(\frac{\partial\sigma}{\partial M_1} - \frac{\partial\sigma}{\partial M_2} \right) \quad (3.47)$$

En el estado de equilibrio, las derivadas $\frac{\partial\sigma}{\partial M_1}$ y $\frac{\partial\sigma}{\partial M_2}$ son iguales y Q_A y Q_B son fijos. Si existe una equivalencia entre los bienes A y B , es posible unirlos y considerar el problema del equilibrio. Sea $Q_A = Q_A^0 n_A$ y $Q_B = Q_B^0 n_B$ donde n_A y n_B son los montos de los bienes adquiridos por unidad de tiempo.

El haber introducido Q_A y Q_B implica que la relación de reemplazo es conocida, es decir, se tiene una unidad común de medida, Luego, de nuevo se tiene que $Q_A + Q_B = V$ y $\delta Q_A = \delta Q_B$ así

$$\delta\sigma = \frac{\partial\sigma}{\partial Q_A}\delta Q_A + \frac{\partial\sigma}{\partial Q_B}\delta Q_B = \delta Q_A \left(\frac{\partial\sigma}{\partial Q_A} - \frac{\partial\sigma}{\partial Q_B} \right) \quad (3.48)$$

luego, la condición para el estado de equilibrio puede ser expresada como

$$\frac{\partial\sigma}{\partial Q_A}P = \frac{\partial\sigma}{\partial Q_B} \quad (3.49)$$

Un hecho que es de vital importancia es el de remarcar que en este análisis no se han hecho hipótesis sobre la utilidad que otorgan los bienes, sino sólo se ha pedido que exista la posibilidad de reemplazar una cantidad de un tipo de bienes por otra cantidad (distinta si es necesario) de otro tipo. Evitando así la sublime construcción de las funciones de utilidad.

Ahora considere el libre mercado en donde ya se ha establecido como depende la entropía de los macro-parámetros. Como se indicó arriba, las condiciones de equilibrio con respecto al flujo de dinero son de la forma

$$\frac{\partial\sigma}{\partial M_a} = \frac{N}{M_A} \quad (3.50)$$

y

$$\frac{\partial S}{\partial M_B} = \frac{N}{M_B} \quad (3.51)$$

Como $M_A + M_B = M$, la igualdad de $\frac{\partial \sigma}{\partial M_A} = \frac{N}{M_A}$ y $\frac{\partial \sigma}{\partial M_B} = \frac{N}{M_B}$ resulta en $M_A = M_B = M/2$.

Cálculos similares para $\frac{\partial \sigma}{\partial V_A}$ y $\frac{\partial \sigma}{\partial Q_B}$ producen $\frac{\partial \sigma}{\partial Q_A} = \frac{N}{Q_A}$ y $\frac{\partial \sigma}{\partial Q_B} = \frac{N}{Q_B}$, que con la restricción $Q_A + Q_B = Q$, $Q_A = Q_B = Q/2$.

Regresando a la condición de sustitución, expresada por $Q_A = Q_A^0 n_A$ y $Q_B = Q_B^0 n_B$, resulta en $\frac{n_A}{n_B} = \frac{Q_A^0}{Q_B^0}$ es decir, el volumen de bienes, adquiridos en el estado de equilibrio del libre mercado es inversamente proporcional a su *capacidad de reemplazo*.

Recordando que al principio se asumió que el equilibrio del flujo del dinero es alcanzado. Las condiciones para el equilibrio sobre el flujo de los bienes toma la forma

$$\tau \frac{\partial \sigma}{\partial Q_A} \Big|_{M_A, M_B} = \tau \frac{\partial \sigma}{\partial Q_B} \Big|_{M_A, M_B} \quad (3.52)$$

Si el flujo de dinero es constante $Td\sigma$ puede ser interpretado como la gasto en la adquisición de la última porción marginal de bienes. Entonces, hemos podido derivar y obtener, a partir de un razonamiento y una metáfora totalmente diferente, la bien conocida formulación marginalista: en el estado de equilibrio, el monto de dinero gastado en la última porción de bienes por unidad de capacidad de reemplazo es el mismo para todos los tipos de bienes representados en el mercado.

Discusión

Es un hecho que la práctica económica no puede desarrollarse sin la teoría o, dicho de otro modo, que la manipulación de las variables que intervienen en los fenómenos económicos no pueden ser útiles sin un soporte teórico que dé los elementos para analizar las implicaciones de utilizar políticas monetarias, fiscales o de restricción en el ingreso. Sir Arthur S. Eddington ilustra estas ideas con la cita “El científico suele confesar que basa sus creencias en la observación, no en la teoría. . . No he conocido a ninguno que lleve a la práctica tal afirmación. . . la observación no basta. . . la teoría tiene una participación importante en la determinación de creencias” [35].

Lo mismo que los enunciados son las herramientas que todos utilizamos en la formación de nuestro lenguaje, antes de la teoría económica están la observación y el establecimiento de principios, incluso la comunión con algún paradigma. Ahora, reconocer simplemente un hecho no quiere decir que se posea conocimiento científico acerca de él. La ciencia no consiste únicamente en reconocer hechos, sino en conocer el por qué de esos hechos. No se debería tomar por conocimiento científico el comprobar fenómenos experimentalmente, sino lo que lo liga de un modo sistemático a otros en forma tal que se puedan descubrir posibles errores. Por tal motivo, muchos experimentadores se interesan en el estudio y las especulaciones respecto a

los principios que se emplean para el desarrollo de aplicaciones prácticas. Lo anterior provoca desenvolvimientos teóricos que a su vez conducen a nuevos problemas que necesitan solución.

En la actualidad, existen escuelas en varias ramas del conocimiento -la biología, la química, la economía o la psicología, por citar algunas- que han reconocido la necesidad de los sustentos teóricos y en donde los “teóricos” y los “prácticos” han terminado trabajando conjuntamente. Si se parte de la idea de que los fenómenos económicos pueden ser estudiados y conocidos en su evolución, es necesario buscar las mejores interpretaciones que incluyan el conocimiento de las causas y efectos de los colectivos que intercambian bienes y mercancías bajo distintas restricciones monetarias y de información. También es evidente que tomar un “agente representativo” racional con información infinita y preferencias ordenadas, reflexivas y convexas no puede reconstruir la demanda agregada o responder a preguntas de desempleo o fijación de precio debido a que la idea del equilibrio mecánico se conjuga con la idea de bienestar y optimalidad en el sentido de Pareto.

Lo anterior, como se ha visto, tiene su origen en la concepción que A. Smith tuvo de los agentes y del papel del egoísmo en la especialización de las personas como entes productivos. Por ello, la teoría neoclásica se ha construido a través del refinamiento matemático de modelos cada vez más complicados -con un creciente número de supuestos- que no reflejan la complejidad de los mercados ni de sus interrelaciones y, ni siquiera, sus características de manera cualitativa.

El deseo de obtener explicaciones a fenómenos comunes tales como la migración de personas en edad productiva hacia las ciudades con mayor volumen de actividades comerciales o lo poco benéfico que resultan los tratados de libre comercio para los países de economías emergentes como México,

Brasil o cualquiera de África, es precisamente el generador de este modelo.

Se puede pensar que, en algún sentido, esta teoría tiene el defecto de excluir el “componente humano” en su análisis, pero no es así: la teoría del equilibrio en economía se vuelve paralela a ésta de la física estadística, tanto que para aquella sólo existen las mercancías y los precios de equilibrio provenientes del egoísmo de cada uno de los actores del mercado, premisa que, desde el principio, aquí ha sido cuestionada.

De hecho, el componente humano se encuentra implícito en este modelo: el mercado requiere cumplir con ciertas reglas para efectuar los intercambios. Incluso si los contratos no son restringidos por reglas “externas”, la mera necesidad de establecer dichos contratos hace del mercado una institución social. Considerado así, el comportamiento de este instituto y sus propiedades termodinámicas son de gran interés, pero antes de existir, tal instituto debe ser creado y ya habiendo sido creado, debe ser mantenido por lo que su colapso debe ser considerado un desastre universal.

En suma, esta forma de modelar los sistemas económicos -y la combinación de los diferentes valores de las variables endógenas- como los estados más probable y no como el resultante de un proceso de maximización, puede ser la base para más desarrollo teórico orientado al estudio de las interrelaciones entre sistemas económicos y las restricciones sobre el ingreso. Así, mediante un análisis más detallado, es posible medir el impacto de las estructuras de mercado y la distribución del dinero sobre variables tales como: nivel de vida, desempleo, precios, intercambio de mercancías y otros problemas relacionados con las divisas.

Por último, debe destacarse que la extensión de esta modelo puede coadyuvar al establecimiento de una teoría que, junto a trabajos como el de F. Hayek y la Austrian School, contemple la información asimétrica que, en con-

traposición de la escuela de Smith, reconozca que el mercado existe gracias a la cultura de los “negocios honestos” y fomente el proceso de competencia sólo como parte de una “cultura de negocios”. Un resultado importante hace énfasis en las ventajas de la predominancia de los mercados con bienes y servicios de alta calidad. Anticipando que la invasión de productos con alto nivel de externalidades como el implementado por los asiáticos puede coexistir e interactuar con los de alta calidad y al mismo tiempo ser frenado por los efectos del “código de comportamiento mercantil”.

Además, es claro también que la hipótesis de equiprobabilidad de los estados del mercado, la base de cualquier teoría estadística, se justifica continuando con la idea de F. Hayek si se considera a la actividad humana como el factor principal para la información incompleta sobre lo que está pasando en el mercado. Por supuesto, es de especial interés la escala macroscópica para describir los fenómenos económicos. Saber que, a nivel individual, el comportamiento de los agentes que *nos* parece impredecible, esta imposibilidad *nuestra* de prever, no se debe únicamente a nuestra ignorancia, sino a las constricciones del comportamiento indeterminado de los propios humanos y, principalmente, a que la conducta de los agentes es adaptativa.

Por lo ya dicho, es posible reconocer, pues, que ésta incapacidad nuestra de predecir en la escala microscópica, con base en la información del pasado y aún del presente, es similar a construir con regla y compás los tres problemas clásicos de la antigüedad o de medir simultáneamente los valores de dos observables conjugadas en mecánica cuántica. En cada caso, la matemática de cada situación debe reconocer que tales hechos *nos* son imposibles de realizar. En otras palabras, ese comportamiento que observamos no es que *nos* parezca impredecible sino que, en efecto, lo es.

Apéndice

A1. Formas normales

Es importante remarcar que los modelos estadísticos muestran que la energía del sistema tiene una peculiar cualidad de ser responsable de un suceso en la teoría termodinámica: si el sistema tiene algún parámetro de inhomogeneidad, entonces, siempre que haya suficientes partículas, el sistema tiene un pronunciado máximo de entropía que se alcanza en el límite cuando dicho parámetro tiende a cero. De esta manera, no sólo el estado de máxima homogeneidad es el más probable, sino que una vez ahí, grandes desviaciones se van haciendo más improbables.

Si se tiene una ecuación de la forma

$$\delta\zeta = \alpha(\xi, \omega) + \beta(\xi, \omega)d\omega$$

entonces el factor integrante es del tipo $1/\omega$

Así,

$$\oint \delta\zeta/\omega = \oint df = 0$$

En termodinámica, se utiliza este concepto en el segundo principio: *la temperatura es el factor integrante de la forma diferencial no total del calor, donde la temperatura es el promedio de la energía cinética por átomo.*

Por lo que si se trata de un sistema de libre mercado en donde es posible evaluar la temperatura económica a través de la *renta per capita*, entonces esta medida podrá ser utilizada como factor integrante para la ecuación del rendimiento δM .

A2. Funciones homogéneas y teorema de Euler

En matemáticas se dice que una función $f(x, y, z, \dots)$ es homogénea de grado v en las variables independientes x, y, z, \dots si al multiplicar estas variables por una constante λ , la función queda multiplicada por λ^v , es decir,

$$f(\lambda x, \lambda y, \lambda z, \dots) = \lambda^v f(x, y, z, \dots) \quad (3.53)$$

Éstas funciones cumplen el siguiente teorema debido a Euler: si $f(x, y, z, \dots)$ es una función homogénea de grado v se verifica

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} + \dots = v f(x, y, z, \dots) \quad (3.54)$$

Para su deducción considere que por ser f una función homogénea de grado v se cumple la ecuación (2,21). Representando las variables $\lambda x, \lambda y, \lambda z$ en la forma

$$x^0 = \lambda x, y^0 = \lambda y, z^0 = \lambda z \quad (3.55)$$

se puede escribir

$$f^0(x^0, y^0, z^0, \dots) = \lambda^v f(x, y, z, \dots) \quad (3.56)$$

Diferenciando el primer miembro de esta ecuación para un incremento $d\lambda$ de λ resulta

$$df^0 = \frac{\partial f^0}{\partial x^0} dx^0 + \frac{\partial f^0}{\partial y^0} dy^0 + \frac{\partial f^0}{\partial z^0} dz^0 + \dots \quad (3.57)$$

y dividiendo por $d\lambda$

$$\frac{df^0}{d\lambda} = \frac{\partial f^0}{\partial x^0} \frac{dx^0}{d\lambda} + \frac{\partial f^0}{\partial y^0} \frac{dy^0}{d\lambda} + \frac{\partial f^0}{\partial z^0} \frac{dz^0}{d\lambda} + \dots \quad (3.58)$$

Teniendo en cuenta que

$$\frac{dx^0}{d\lambda} = x; \quad \frac{dy^0}{d\lambda} = y; \quad \frac{dz^0}{d\lambda} = z$$

resulta

$$\frac{df^0}{d\lambda} = \frac{\partial f^0}{\partial x^0}x + \frac{\partial f^0}{\partial y^0}y + \frac{\partial f^0}{\partial z^0}z + \dots$$

Por otra parte, derivando el segundo miembro de la ecuación (6.2) respecto a λ resulta directamente

$$\frac{df^0}{d\lambda} = v\lambda^{v-1}f(x, y, z, \dots) \quad (3.60)$$

Como λ es un parámetro arbitrario, la ecuación anterior se cumple para cualquier valor de λ . Haciendo $\lambda = 1$ e igualando resulta

$$\frac{\partial f^0}{\partial x^0}x + \frac{\partial f^0}{\partial y^0}y + \frac{\partial f^0}{\partial z^0}z + \dots = vf(x, y, z, \dots) \quad (3.61)$$

que constituye el *teorema de Euler*.

A3. Complejidad e información

Una medida asociada a la entropía que también puede ayudar a dar cuenta de propiedades cualitativas de los sistemas económicos y de los cambios registrados ante diferentes estructuras e información disponible es la de Complejidad.

El estudio de la relación entre información y física tiene una larga historia. El demonio de Maxwell ha proporcionado muchos de los ímpetus, tal como el entendimiento de la computación como un proceso físico. Más recientemente, este interés se ha centrado en cuanto a información y computación. En sistemas económicos, es importante considerar el papel de la interdependencia de los grados de libertad microscópicos y macroscópicos. Ausente de los debates convencionales sobre información en física, está el reconocimiento de que la información que describe la estructura macroscópica y dinámicas de sistemas no-equilibrados, debe ser relacionada con cambios en la entropía.

Ahora, bien, no sólo están relacionados los estados no-equilibrados con una reducción en entropía (que viene directamente de la Segunda Ley de la Termodinámica), sino, más significativamente, el grado al que el comportamiento macroscópico ocurre, debe en algún sentido estar directamente relacionado al grado de reducción en la entropía. Esta afirmación también puede entenderse como que los grados de libertad macroscópicamente observables representan agregados de muchas variables microscópicas, es decir, que colectivos macroscópicamente relevantes surgen cuando sus grados de libertad internos/relativos están restringidos, creando comportamientos coherentes que son observables a una gran escala.

Existen dos aspectos del concepto de complejidad que parecen causar

la mayor dificultad en las discusiones formales. El primer problema es que existe una correspondencia entre información y entropía que aparentemente está en contra de la intuición común. El segundo problema es la existencia de dependencia del observador, sugiriendo arbitrariedad en la definición.

La definición convencional de la entropía física σ de un sistema con un macroestado particular en física estadística y la de información $I(z)$, la información promedio en un conjunto de mensajes (descripciones) cuyas probabilidades $P_z(s)$ mapean hacia el conjunto de microestados del sistema

$$I(z) = \frac{\sigma}{k \ln} = - \sum_s P_z(s) \ln P_z(s). \quad (3.62)$$

La suma sobre s indica una suma sobre el conjunto finito o infinito de mensajes, donde los mensajes están en correspondencia uno a uno con los estados del sistema y por tanto, pueden considerarse como etiquetas o descripciones de cada estado del sistema. La Ecuación (1) permite a la entropía ser generalizada para tratar sistemas no equilibrados, con tal que asumamos un conjunto bien definido de distribución de probabilidad, $P_z(s)$. Asumiremos, además, que los mensajes pueden ser escritos usando variables binarias $s = \{s_i\}_{i=1, \dots, n}$, $s_i = \pm 1$, que estas variables binarias corresponden a los componentes del sistema, y todas son de la misma escala, aunque éstas pueden ser interdependientes. La interdependencia de estos componentes es capturada por la probabilidad del estado del sistema $P_z(s) = P_z(s_1, \dots, s_n)$, que generalmente no se factoriza en probabilidades de las variables binarias individuales. Las variables s_i consideradas individualmente tienen la probabilidad $P_{z_i}(s_i)$, que podemos asumir por simplicidad sean igual para los dos posibles valores tal que la información $I(z_i)$ es 1.

La dificultad conceptual con la relación dada es que los sistemas equilibrados que maximizan la entropía, no son los sistemas que identificamos

normalmente como los más complejos. La forma de equilibrio de un ser humano es un líquido oscuro -este es el sistema más desordenado/aleatorio sin estructura visible o dinámica (aún por su descripción microscópica requiere la mayor información). Esta dificultad ha llevado a definiciones de complejidad que dan un valor bajo para sistemas completamente desordenados, y un valor alto para sistemas lejos del equilibrio. Probablemente las más antiguas y más discutidas variantes en información que pueden ser usadas para caracterizar el carácter no equilibrado de un sistema es el concepto de Schrödinger de negentropía [12], el cuál, mientras fue definido originalmente como el negativo de la entropía, puede ser entendido mejor como la diferencia entre la entropía equilibrada y la entropía del sistema cuando éste está en un, no equilibrado pero bien definido conjunto $P_z(s)$. La negentropía, por tanto, mide la desviación entrópica del sistema desde el estado equilibrado. Puesto que esta definición modificada equivale a la adición de un desplazamiento constante (la entropía equilibrada) para todos los posibles macroestados no equilibrados de un sistema particular, aquella cambia sólo en una forma no esencial el concepto definido por Schrödinger. La negentropía definida de esta forma es alta para sistemas que están fuera de equilibrio. Su relación con el formalismo multiescala se discutirá debajo.

El segundo problema conceptual surge de un interés con la aparente dependencia de longitud de descripción en el observador. En contraste a la única definición de entropía de un sistema físico, la dependencia del observador de cantidades físicas (p. ej. las kinemáticas) es bien conocida y el objetivo de la teoría es relacionar lo que diferentes observadores reportan. En luz de esta perspectiva, no debe ser sorprendente que la complejidad de un sistema puede ser dependiente del observador. Sostendremos que en lugar de un único número para caracterizar la complejidad, por lo menos, es necesaria

una complejidad dependiente de escala, i.e. la complejidad como reportada por una secuencia de observadores cuyas observaciones del sistema son a diferentes escalas. Esta dependencia de escala refleja la habilidad del observador para distinguir detalles del sistema. Todos los observadores observan el mismo ámbito, i.e. el sistema en toda su totalidad. Observadores de escalas más altas, no obstante, sólo ven información redundante. El concepto de una entropía dependiente de escala data desde el ϵ -entropía de Kolmogorov [15], que es similar a la teoría de la información de canal-ruidoso de Shannon [13]. El estudio de la ϵ -entropía ha sido principalmente limitado al límite de pequeña escala para describir la tasa de entropía de sistemas dinámicos [15, 34]. Existen muchos trabajos más recientes que han explorado la dependencia de escala de entropía en casos específicos [10, 35-38].

Las expresiones que daremos para la entropía dependiente de escala en términos de interdependencia de escala pueden ser relacionadas con una noción de complejidad sin alguna de las dificultades conceptuales discutidas arriba. Bajo la resolución de los problemas conceptuales está la regla de la suma que probaremos que refleja un *tradeoff* entre complejidad a pequeña escala y gran escala para sistemas con diferentes distribuciones de probabilidad sobre los mismos grados de libertad subyacentes. Esta regla de la suma tiene una extensa relevancia para nuestro entendimiento de sistemas complejos.

La representación multiescala es escrita considerando el nivel de redundancia de especificación de la información por los elementos. La cantidad de información en cada escala no es un entero, pero la escala es integral y va de 1 a n . La cantidad de información que es compartida por al menos k variables es la complejidad $C(k)$, también definimos $D(k)$, la información que tiene una redundancia de k , pero no mayor. $D(k)$ particiona la información

disjuntamente y

$$C(k) = \sum_{k'=k}^n D(k') \quad (3.63)$$

La entropía convencional es la complejidad a pequeña escala $H(z) = C(1)$.

Bibliografía

- [1] Akerloff G.A. (1984). *An Economic Theorists Book of Tales: Essays that Entertain the Consequences of New Assumptions in Economic Theory*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- [2] Akerloff G.A. (1970). *The Market for Lemons; Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism*. Quaterly Journal of Economics, **84**:488-500.
- [3] Aldous, D.J. (1985). *Exchangeability and related topics* in Lecture notes in mathematics, No.1117, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Amaral L., Buldyrev S., Havlin S., Leschhorn H., Maas P., Salinger M., Stanley E. and M. Stanley (1997). *Scaling Behavior in Economics: I. Empirical Results for Company Growth*. Journal de Physique, **7**:621-633.
- [5] L., Buldyrev S., Havlin S., Salinger M. and E. Stanley (1998). *Power Law Scaling for a System of Interacting Units with Complex Internal Structure*. Physical Review Letters, **80**:1385-1388.
- [6] Aoki, M. (2001). *Open models of share markets with two dominant types of participants*. J. Econ. Behav. Org. **49**:199-216.

- [7] Aoki, M. and Yoshikawa, H. (2006). *Reconstructing Macroeconomics: A Perspective from Statistical Physics and Combinatorial Stochastic Processes*. forthcoming from Cambridge University Press, New York.
- [8] Aoki M. (1996). *New Approaches to Macroeconomic Modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Arrow K.J., Debreu G. (1954). *Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy*. *Econometrica*, **22**:265-290.
- [10] Arrow K. (1951). *Social Choice and Individual Values*. Wiley & Sons, new York.
- [11] Axtell R. (1999). *The Emergence of Firms in a Population of Agents: Local Increasing Returns, Unstable Nash Equilibria, and Power Law Size Distribution*. CSED Working Paper No.3.
- [12] Arthur W.B. (1988). *Self-reinforcing mechanisms in Economics*. en "The Economy as an Evolving Complex System". Proceedings of the Workshop on the Evolutionary Paths of the Global Economy Held in Santa Fe, New Mexico, September, 1987. Ed. By P.W. Anderson, K.J. Arrow, D. Pines. Redwood City, CA. Addison-Wesley. p. 9-31.
- [13] Axtell R. (2001). *Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes*. *Science*, **293**:1818-1820.
- [14] Bak P. (1997), *How Nature Works*. Oxford University Press, Oxford.
- [15] Bak P., Chen K., Scheinkman J. and M. Woodford (1993), *Aggregate Fluctuations from Independent Sectoral Shocks: Self-Organized Criticality in a Model of Production and Inventory Dynamics*, *Ricerche Economiche*, **47**:3-30.

- [16] Blank A. and s. Solomon (2000). *Power Laws in Cities Population, Financial Markets and Internet Sites*. Physica A, **287**:279-288.
- [17] Blumenfeld, R., and B. B. Mandelbrot (1997). *Lévy dusts, Millag-Leffler statistics, mass fractal lacunarity, and perceived dimension*. Physical Review E, **56**, 112-118.
- [18] Brillouin L. (1956). *Science and Information Theory*. N.Y. Academic Press.
- [19] Brock W. (1999). *Scaling in Economics: A Reader's Guide, Industrial and Corporate Change* **8**:409-446.
- [20] Carroll C. (2001). *Requiem for the Representative Consumer? Aggregate Implications of Microeconomics Consumption Behavior*. American Economic Review, **90**:110-115.
- [21] Caves R., (1998). *Industrial Organization and New Findings on the Turnover and Mobility of Firms*. Journal of Economic Literature, **36**:1947-1982.
- [22] Canning D., Amaral L., Lee Y. Meyer M. and E. Stanley (1998), *Scaling the Volatility of GDP Growth Rates*, Economics Letters, **60**:335-341.
- [23] Canning D., Amaral L., Lee Y. Meyer M. and E. Stanley (1998), *Scaling the Volatility of GDP Growth Rates*, Economics Letters, **60**:335-341.
- [24] Comte August. *A General View of Positivism*. pp. 48-49. 41. August Comte, Systeme de politique positive.
- [25] Cocho, G. y P. Miramontes (2000). *Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protectorados*. Ciencias, **51**:12-23.

- [26] Debreu, G., 1959. *Theory of Value. An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium*. John Wiley, New York.
- [27] Davis S., Haltiwanger J. and S. Schub (1996). *Job Creation and Destruction*. MIT Press, Cambridge.
- [28] Delli Gatti D., Gallegati M., Giulioni G. and A. Palestrini (2003b). *Financial Fragility, Patterns of Firms Entry and Exit and Aggregate Dynamics*. *Journal of Economic Behavior and Organization*, **51**:79-97.
- [29] Derrida, B. (1981). *Random energy model*. *Physical Review B*, **24**:2613-2626.
- [30] Derrida, B. (1994). *From Random Walks to Spin Glasses*. *Physica D*, **107**:166-198.
- [31] Devroye (1993). *A triptych of discrete distributions related to the stable law*. *Probability Letters*, **18**:349-351.
- [32] Donadio, S. and P. Viarengo (2006). *Herding and Clustering in Economics: The Yule-Zipf-Simon Model*. *Computational Economics*, **27**:115-134.
- [33] Durlauf S. (1993). *Nonergodic Economic Growth*. *Rev. Econ. Studies*, **60**:349-366.
- [34] Durlauf S. A. (1996). *Theory of Persistent Income Inequality*. *J. Econ. Growth*, **1**:75-93.
- [35] 1939. *Philosophy of Physical Science*. Cambridge University Press. ISBN 0-7581-2054-0 (1938 Tarner lectures at Cambridge)

- [36] Einstein, Albert. *The Collected Papers of Albert Einstein*. Volume 2: The Swiss Years: Writings, 1900-1909. . Edited by John Stachel, David C. Cassidy, Jürgen Renn, and Robert Schulmann
- [37] Karl Marx and Friedrich Engels. *Manifest der Kommunistischen Partei*. Disponible en archivo electrónico en <http://www.gutenberg.org/etext/61>
- [38] Fabritiis, D. de, F. Pammolli, and M. Riccaboni (2003). *On size and growth of bussiness firms*. *Physica*, **A324**:38-44.
- [39] Fannes, M., C. Maies, and A. Verberre. (1997). *Non-self-averaging effects in sums of random variables, spin glasses, random maps and random walks*. On Three Levels Micro- Meso- and Macro-Approaches in Physics. Plenum Press, New York.
- [40] Feller, W. (1949). *Fluctuation theory of recurrent events*. *Trans. Am. Math. Soc.*, **67**:98-119.
- [41] Feng, S., F. M. Hoppe. (1998). *Large deviation principle for some random combinatorial structures in population genetics and Brownian motion*. *Ann. Appl. Prob.*, **6**:975-994.
- [42] Fisher F.V. (1963). *Disequilibrium Foundations of Equilibrium Economics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- [43] Ortín Rull, J. y J. M. Sancho (2001). *Curso de Física Estadística*. Edicions de la Universitat de barcelona. UB-50
- [44] Tippens Paul (1988). *Applied Physics*. Mc Graw Hill Inc. USA.

- [45] Daniel Charles Mattis. *Statistical Mechanics Made Simple: A Guide for Students and Researchers*
- [46] James Glimm, Arthur Jaffe. *Quantum Field Theory and Statistical Mechanics*.
- [47] R K Pathria. *Statistical Mechanics*. Second Edition en Annals of thermal physics, the fifties of the last century mark a very definite epoch.
- [48] Terrell L. Hill. *An Introduction to Statistical Thermodynamics*. (1987).
- [49] Gaffeo E., Gallegati M. and A. Palestrini (2003). *On the Size Distribution of Firms. Additional Evidence from the G7 Countries*. Physica A, **324**:117-123.
- [50] Golan A., Judge G., Miller D. (1996). *Maximum Entropy Econometrics: Robust Estimation with Limited Data*. Chichester. Wiley.
- [51] Greenwald B. and J. Stiglitz (1990). *Macroeconomic Models with Equity and Credit Rationing*. en Hubbard R., Information, Capital Markets and Investment. Chicago. Chicago University Press.
- [52] Greenwald B. and J. Stiglitz (1993). *Financial Markets Imperfections and Business Cycles*. Quarterly journal of Economics, **108**:77-113.
- [53] Grossman S. and J. Stiglitz (1980). *On the Impossibility of Informationally Efficient Markets*. American Economic Review, **70**:393-408.
- [54] Stephen W. Hawking. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*.
- [55] Hayek F.A. (1988). *The Fatal Conceit*. In Collected Works of F.A. Hayek. University of Chicago Pres.

- [56] Higgs, P. (1995). *Frequency distributions in population genetics parallel those in statistical physics*. Physical Review E, **51**:95-101.
- [57] Hildebrand W. (1994). *Market Demand*. Princeton University Press, Princeton.
- [58] Hildebrand W. and A. Kirman (1988). *Equilibrium Analysis*. North-Holland, **34**:23-35.
- [59] Holst, L. (2001). *The Poisson-Dirichlet Distribution and Its Relatives Revisited*. Tech. Report Dept. Math. Royal Inst. Technology, Stokholm.
- [60] Hopenhayn H. (1992). *Entry, Exit and Firm Dynamics in Long-run Equilibrium*. Econometrica. **60**:1127-1150.
- [61] Huang, Z. and S. Solomon (2001), *Power, Lévy, Exponential and Gaussian Regimes in Autocatalytic Financial Systems*. Euro. Phys. Jou. B, **20**:601-607.
- [62] Iwai, K. (1997). *A contribution to the evolutionary theory of innovation, imitation and growth*. K. Econ. Behav. Org., **43**:167-198.
- [63] Jaynes E.T. (1957). *Information Theory and Statistical Mechanics*. Physical Review, **106**:620-630. **108**:171-190.
- [64] Jaynes E.T. (1984). *Prior Information and Ambiguity in Inverse Problems*. (New York, 1983). In: SIAMAMS Proc., 14. Providence: Amer. Math. Soc., 151-166.
- [65] Gutiérrez Sánchez J.L. *Teorías, sistemas y comprensión del mundo*. Santiago Ramírez Castaneda, ed., *Perspectivas en la teoría de sistemas*. CEICH UNAM/Siglo XXI. México, 1999.

- [66] Kirman A. (1992). *Whom or What Does the Representative Individual represent?* Journal of Economic Perspectives. **6**, p. 117-136.
- [67] Kittel Ch. *Thermal Physics*. N. Y. Wiley, 1970.
- [68] Klein M.J. (1956). *Negative Absolute Temperature*. Phys. Rev., **104**:589.
- [69] Gnedenko B. and A. Kolmogorov (1954). *Limit Distributions for Sums of Independent Random Variables*. Addison-Wesley.
- [70] Krugman P. (1996). *The Self-Organizing Economy*. Cambridge, Blackwell.
- [71] Proops, J.L.R., 1996. *Linking ecology and economy: joint production in the chemical industry*. In: Faber, M., Manstetten, R., Proops, J.L.R. (Eds.), *Ecological Economics Concepts and Methods*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 263-278.
- [72] Landau L.D., Lifschitz E.M. (1968). *Course of theoretical physics. Vol.5: Statistical Physics*. Translated from the Russian by J. B. Sykes and M. J. Kearsley. Second revised and enlarged edition Pergamon Press, Oxford-Edinburgh-New York.
- [73] Lee Y., Amaral L., Canning D., Meyer M. and E. Stanley (1998). *Universal Features in the Growth Dynamics of Complex Organizations*. Physical Review Letters, **81**:3275-3278.
- [74] Levine R.D., Tribus M. Foreword (1978). *The Maximum Entropy Formalism*. (Conf., Mass. Inst. Tech., Cambridge, Mass., 1978). MIT Press, VII-IX.

- [75] Robert Malthus. *An Essay on the Principle of Population* first published in 1798.
- [76] Mandelbrot, Benoit B. (1997). *Fractals and Scaling in Finance: discontinuity, concentration, risk*. Springer. Selecta Vol. E. New York.
- [77] Mandelbrot B. (1960). *The Pareto-Levy Law and the Distribution of Income*. International Economic Review, **12**:79-105.
- [78] Mantegna R. and E. Stanley (2000). *An Introduction to Econophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [79] Marshall A. and I. Olkin (1967). *A Multivariate Exponential Distribution*. American Statistical Association Journal. p. 30-44.
- [80] Marsili M. and Y.-C. Zhang (1998). *Interacting Individuals Leading to Zips' Law*. Physical Review Letters, **80**:2741-2744.
- [81] Pasinetti, L. (Ed.), 1980. *Essays on the Theory of Joint Production*. Macmillan, London.
- [82] Mekjian, A.Z., and K.C. Chase (1997). *Disordered systems, power laws and random processes*. Physical Letters A. **229**:340-346.
- [83] Mertens, S. (2000). *Random costs in combinatorial optimization*. Physical Review Letters, **84**:1347-1350.
- [84] Harvard Magazine. *The Damn'd South Sea*. May-June 1999.
- [85] Nørrelykke S. and P. Bak (2002). *Self-Organized Criticality in a Transient System*. Physics Review, **68**.
- [86] Elke Köpen, R. Mansilla y P. Miramontes (2005). *La interdisciplina desde la teoría de los sistemas complejos*. Ciencias, **79**:4-12.

- [87] Canning D., Amaral L., Lee Y. Meyer M. and E. Stanley (1998), Scaling the Volatility of GDP Growth Rates, *Economics Letters*, **60**:335-341.
- [88] Proops, J.L.R., 2000. The (non-) economics of the nuclear fuel cycle: an historical and discourse analysis. Paper given to the European Society for Ecological Economics Conference, Vienna, 36 May.
- [89] Perrings, C., 1994. Conservation of mass and the timebehaviour of ecological-economic systems. In: Burley, P., Foster, J. (Eds.), *Economics and Thermodynamics: New Perspectives on Economic Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 99117.
- [90] Pareto V. (1897). *Course d'Économie Politique*. Vol.2. Pichou, Paris.
- [91] Rebelo S. (1991). *Long-run Policy Analysis and Long-run Growth*, *Journal of Political Economy*. **99**:500-521.
- [92] Canning D., Amaral L., Lee Y. Meyer M. and E. Stanley (1998), Scaling the Volatility of GDP Growth Rates, *Economics Letters*, **60**:335-341.
- [93] Resnik S. (1987). *Extreme Values, Regular Variation and Point Processes*. New York: Springer Verlag.
- [94] David Ricardo. *On the Principles of Political Economy and Taxation*. John Murray, Third Edition. London, 1821.
- [95] Samuelson Paul A. International Student Edition (1983). *Economics*. Mc Graw Hill. pp. 646.
- [96] Samuelson, B., and C. Troein. (2005). *Random maps and attractors in random Booleannetworks*. arXiv:cond-mat/0505481 v1, 19 May 2005.

- [97] Schmidt, M., Ha"uslein, A., 1997. O8 kobilanzierung mit Computerunterstu"tzung. Springer-Verlag, Heidelberg.
- [98] Sherer, F. M. (1980). *Industrial Market Structure and Economic Performance*. 2nd ed. Houghton Mifflin Co. Boston.
- [99] Smith, A. (1776) *An Inquiry to the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London.
- [100] Sornette D. (2000). *Critical Phenomena in Natural Sciences, Chaos, Fractals, Self-Organization and Disorder*. Concepts and Tools. Springer, Heidelberg.
- [101] Steindl J. (1965). *Random Processes and the Growth of Firms*. Hafner, New York.
- [102] Faber, M., Proops, J.L.R., Baumga"rtner, S., 1998. All production is joint productionA thermodynamic analysis. In: Faucheux, S., Gowdy, J.M., Nicolay", I. (Eds.), *Sustainability and Firms. Technological Change and the Changing Regulatory Environment*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 131158.
- [103] Sutton, J. (2002). *The variance of firm growth rates: the "scaling" puzzle*. *Physica A*. **312**:577-590.
- [104] Vasicek, Oldrich A. (1977). *An Equilibrium Characterisation of the Term Structure*. *Journal of Financial Economics*, vol.5.
- [105] Koopmans, T.C., 1951. Analysis of production as an efficient combination of activities. In: *Activity Analysis of Production and Allocation*. John Wiley, New York, pp. 3397.

- [106] Williamson O.E. (1975). *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*. N.Y.: Free Press; London: McMillan, Ch.4.
- [107] Yamoato H., M. Sibuya (2000). *Moments of some statistics of Pitman sampling formula*. Bull, Inform. Cybernet.

IMPRESOS

M **OYA**

• TESIS URGENTES •

- FOLLETOS •
- OFFSET •
- LIBROS •
- BOLOS •
- ETC •

Agustín Juárez S.

ATENCIÓN PERSONAL

REPUBLICA DE CUBA 99
DESPACHO 1, 1er. PISO
CENTRO HISTORICO
MÉXICO, D.F.

TEL. 9112-9374
CEL. 04455-2184-5858

Coordinación de Certificación y Registro

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada Humano me es ajeno