

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA

Resumen de la tesis (bachiller en física) defendida en la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UNT en 2005. Disponible en línea en

<http://bibliotecas.unitru.edu.pe/busqueda.php>

<http://bibliotecas.unitru.edu.pe/index.php>

Autor:

José Luis Pereyra Díaz. Bachiller egresado de la escuela de física, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UNT.

Trujillo 12 de Agosto de 2015

ESTRUCTURA DE LA OBRA.

El resumen de la tesis aparece con esta estructura:

Parte 1

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA con énfasis en macroeconomía

Parte 2

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA con énfasis en microeconomía

Parte 1

TERMODINÁMICA Y ECONOMÍA

Con énfasis en macroeconomía

RESUMEN

En este estudio se examinó la teoría propuesta por W. Saslow acerca de la relación entre la Economía y la Termodinámica. Como afirma Saslow, se encontró una analogía entre las variables de estado de ambas ramas. Específicamente se descubrió a partir de una descripción fenomenológica una relación del tipo Gibbs–Duhem en la economía usando las condiciones de Slutsky, y la relación propuesta por la teoría marginalista entre el valor de cambio y el valor de uso.

Con el fin de simplificar los cálculos, se supuso que los sistemas económicos se encuentran en equilibrio, con la finalidad de poder hacer la analogía con la Termodinámica de Equilibrio.

Además, se aplicó otros supuestos como el de considerar constante la riqueza de un consumidor (microeconomía) o de un país pequeño (macroeconomía) y suponer mensurable (cuantificable) la función económica de utilidad. Del análisis de los datos, se pudo deducir que la teoría de W. Saslow debería ser desarrollada más bien en el campo de la termodinámica de no equilibrio. Al parecer, la economía no es un sistema que permanentemente se encuentre en equilibrio, sino más bien es un sistema dinámico que tiende a cierto equilibrio.

I. INTRODUCCIÓN

Existen muchas analogías entre los sistemas económicos y físicos. En particular existen conceptos de la Termodinámica que pueden aproximarse a algunas variables y relaciones de la Economía. Un concepto que puede aplicarse a la Economía es el de entropía. La idea de aplicar la forma de pensar de la termodinámica a la economía, no es novedosa. De hecho, se encuentra en algunos escritos de *Karl Marx*. Para el pensamiento Marxista, el concepto de energía como fluido concuerda exactamente con el de dinero de la Economía [15]. Esta analogía es característica de la forma de pensar del materialismo dialéctico. Precisamente el inicio de la termodinámica, se lo ubica en plena revolución industrial, la misma que sirvió de motivación para el análisis Marxista.

El premio nobel de economía, Paul Samuelson, sugirió alguna vez que la economía y la termodinámica, tenían mucho en común [23]. Sin embargo, sus investigaciones no llegaron a ser tan profundas como las de Roegen Georgescu. Este economista realizó un minucioso estudio de una de las principales variables de estado de la termodinámica: la entropía [10].

Más recientemente en 1998, *Wayne Saslow*, profesor de *Texas A & M University*, propuso una analogía más formal entre la termodinámica y la economía. Específicamente, su desarrollo teórico se aplicó a la Teoría del Consumidor de la Microeconomía [20]. Saslow expone una descripción fenomenológica entre los sistemas termodinámico y económico. Se basa principalmente en la suposición de que un sistema económico se encuentra siempre en equilibrio. Con este supuesto expone la forma en que algunas variables de estado de la Termodinámica tienen sus respectivos análogos en la Economía.

Existen dos formas de trabajar en Termodinámica. La primera es encontrando la función de energía interna de un sistema termodinámico y la segunda es encontrando la función de entropía del sistema. La formulación de una función teórica de energía interna o de entropía es muy difícil, salvo si se hacen algunas suposiciones básicas que permiten llegar a la función de forma aproximada. Sin embargo, sí es posible obtener una función experimental de un sistema termodinámico [05].

Desde este punto de vista, *W. Saslow* intentó encontrar un sistema económico que posea una función experimental análoga a la de la energía interna. El problema de esta analogía es que no define claramente cuáles son las variables temperatura y entropía que corresponden al sistema económico analizado. Quienes toman el camino de buscar una formulación termodinámica para la entropía encuentran que su análogo en la economía podría ser la Función de Producción. Para este fin, utilizan la analogía entre la Segunda Ley de la Termodinámica y la Función de Producción de la Economía. Pero aun así la idea de temperatura es difícil de encontrar en el sistema económico [06, 07, 19].

Los supuestos básicos de la analogía de W. Saslow son:

1. El sistema económico se encuentra en equilibrio. En la práctica, sabemos que los sistemas económicos no son ni aislados ni se encuentran permanentemente en equilibrio; más bien son sistemas dinámicos.
2. Existe una función de utilidad mensurable (el análogo a la función de energía interna).
3. La riqueza de un consumidor o de un país pequeño es constante.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los sistemas económicos análogos a los de la termodinámica son en este estudio el comportamiento de un consumidor individual o de un país pequeño, cada uno de los cuales se encuentra incorporado dentro de un sistema económico mayor. Consideremos primero un consumidor individual. Una suposición fundamental en economía es que el consumidor emplea una *función utilidad* U para elegir comprar un bien u otro. Suponemos que U se encuentra definido en un conjunto conveniente de productos que generan utilidad al consumidor. También asumimos que la utilidad es medible. Realmente la utilidad en la economía es un concepto psicológico, lo que significa que por el momento no se puede medir numéricamente. En Economía la utilidad se define como la satisfacción (subjetiva) que nos produce la tenencia y uso de determinadas cantidades de diversos bienes y servicios.

Comenzamos discutiendo ciertas relaciones fundamentales. Primero consideramos la *riqueza* W , medida como la suma de dos partes.

$$W = \lambda M + pN \text{ (Economía) (2.01)}$$

donde λ y M representan *el poder de compra* y la *cantidad de dinero respectivamente*; p y N representan *vectores de precios* y *cantidades de diferentes bienes*. La riqueza en este contexto comprende la parte de bienes que un individuo puede poseer, y también la parte monetaria. Específicamente M representa la cantidad de dinero que puede tener el individuo en el banco y λ es su poder adquisitivo. Como se indicó, se supone que W se *mantiene constante en las transacciones*, ya que en un sistema termodinámico representa la energía total, E . Si bien E y W son análogos, desde el punto de vista de la maximización de la riqueza la analogía natural sería más bien entre $-E$ y W .

Los economistas asumen que el valor subjetivo de las monedas y de los bienes de un consumidor individual se obtiene sumando la utilidad de todas las unidades que posee representado por la función U . La utilidad normalmente excede a W . Este exceso es conocido como *superávit*. Introducimos la notación Ψ para representar el superávit:

$$\Psi = U - W \text{ (Economía) (2.02)}$$

En una economía primitiva o muy pobre posiblemente no haya superávit. De esta manera $\Psi = 0$. En este caso, todas las personas realizan la misma función económica con la misma eficiencia, y no existen beneficio por la especialización ni por el comercio. Como resultado, el superávit Ψ es cero pero nunca puede ser negativo. En general, casi todos los sistemas económicos tienden a arrojar un superávit positivo: $\Psi > 0$.

Por otro lado, la *energía libre de Helmholtz* F de un sistema con N partículas idénticas está definida como:

$$F = -PV + \mu N \text{ (Termodinámica) (2.03)}$$

donde P es la *presión*, V el *volumen*, μ el *potencial químico* y N el *número* de partículas. La cantidad en termodinámica análoga al *precio* p es el *potencial químico* μ . Para tener una idea más clara, en termodinámica el potencial químico μ es entendido como una tendencia a la difusión [01]. Para ver porqué es análogo al precio en Economía, consideremos un país que produce un determinado bien. Si el precio de ese bien en el mercado mundial es mayor que el precio de venta en dicho país, la tendencia habitual es que el país exporte ese bien, por tanto se produce un proceso de difusión de ese bien del país hacia el exterior. Por el contrario, si el precio del mismo bien es menor en el extranjero que en el propio país, se produce un proceso de difusión de dicho bien hacia el interior del país [13].

Asimismo, en Termodinámica la *energía* E menos la *energía libre* F es igual a la temperatura T por la entropía S .

$$T S = E - F \text{ (Termodinámica) (2.04)}$$

Una comparación de la ecuación económica (2.02) con la de termodinámica (2.04) sugieren otra analogía, la de Ψ y $T S$. La Tabla 1 presenta la correspondencia análoga entre las variables de termodinámica y economía.

Tabla 1

Resumen de las variables de estado sugeridas entre los sistemas Termodinámicos y Económicos

<i>Termodinámica</i>	$-F$	$-E$	$T S$	μ	N
<i>Economía</i>	W	U	Ψ	p	N
	(riqueza)	(Utilidad)	(Superávit)	(precio)	(# bienes)

Debido a que el superávit es cero para una economía no desarrollada, intentaremos igualar la temperatura económica T con el *nivel de desarrollo económico*.

TERMODINÁMICA Y MACROECONOMÍA.

La Tabla 2 presenta la correspondencia análoga entre las variables de termodinámica microeconomía y macroeconomía.

Tabla 2

Resumen de las variables de estado sugeridas entre los sistemas Termodinámicos, Microeconómicos y Macroeconómicos

Termodinámica		Microeconomía		Macroeconomía	
Variables de Estado	Símbolo	Variables de Estado	Símbolo	Variables de Estado	Símbolo
<i>Potencial Químico</i>	μ	<i>Precio del bien</i>	p	<i>IPC</i>	p o <i>IPC</i>
<i>Numero de Partículas</i>	N	<i>Numero de Bienes</i>	N	<i>Cantidad de Bienes de Capital</i>	N
<i>Potencial de Gibbs</i>	G	<i>Costo de los Bienes</i>	C	<i>Costo de Bienes de Capital</i>	C
<i>Entropía</i>	S	<i>Entropía</i>	S	<i>PIB Real</i>	Y
<i>Temperatura</i>	T	<i>Nivel de Desarrollo</i>	T	<i>Nivel de Desarrollo</i>	T
<i>Calor</i>	Q	<i>Superávit</i>	Q	<i>Balanza Comercial</i>	BC
<i>Presión</i>	P	<i>Valor del Dinero</i>	λ	<i>Tipo de Cambio</i>	λ
<i>Volumen</i>	V	<i>Importe de Dinero</i>	M	<i>Cantidad de Reservas Internacionales</i>	M
<i>Potencial de Helmholtz</i>	F	<i>Riqueza</i>	W	<i>Riqueza</i>	W
<i>Energía Interna</i>	E	<i>Utilidad</i>	U	<i>Utilidad</i>	U

Tanto la Termodinámica como la Macroeconomía, operan con variables que definen el estado macroscópico del sistema en estudio. El traspaso de las variables definidas por W. Saslow para la Teoría del Consumidor al análisis Macroeconómico, se logra de forma fenomenológica.

Para el caso del valor del dinero λ y el importe de dinero M , cada país cuenta con una cantidad de Reservas Internacionales (que de ahora en adelante será M), los cuales son un depósito de moneda extranjera controlados por los bancos centrales y otras autoridades monetarias. Estos activos se componen de diversas monedas de reservas, especialmente dólares y euros. Y el valor del dinero, será el precio de dichas divisas en el país de origen, conocido como tipo de cambio (ahora λ).

Para considerar un análogo macroeconómico de la entropía, se tuvo en cuenta, las definiciones habituales de los conceptos. En primer lugar, se entiende a la entropía como un grado de desorden de un sistema, aunque este concepto ya casi se está descartando. El segundo concepto está asociado con la dispersión espontánea de la energía o como medida de procesos irreversibles. Pero el concepto más claro de la entropía, es una magnitud que siempre va en aumento según avanza el tiempo, de ahí que se considere a la entropía como una flecha del tiempo [14].

Por esta razón, se buscó una variable macroeconómica, que aumente al transcurrir el tiempo, considerando que no existan externalidades que puedan cambiar o alterar su comportamiento. Dicha variable macroeconómica, resulta ser el PBI real, puesto que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país durante un periodo de tiempo determinado.

Para la analogía planteada por Saslow, el Superávit Ψ (entendido como lo que queda), para un país, viene a ser la Balanza Comercial (Exportaciones menos las importaciones). La Balanza Comercial, es una parte del PBI, la cual se muestra en la siguiente expresión [04].

$$Y=C+I+G+BC \quad (2.5)$$

donde Y es el *PIB Real*, C es el Consumo, I es la Inversión, G es el Gasto Público y BC la Balanza Comercial.

Con esto, de acuerdo a la segunda Ley de la Termodinámica y la Segunda Ley de la Economía [05, 16], podemos definir provisionalmente un nivel de desarrollo Económico (T) dado por la Relación siguiente:

$$T=BC \ Y \quad (2.6)$$

La analogía para el precio, vendrá dado, por un indicador denominado Índice del Precio del Consumidor (IPC), que es una cantidad adimensional definida de esta manera. *IPC es el Precio de la canasta de bienes y servicios en el año actual sobre Precio de la Canasta en el año base (1950) \times 100.*

Por analogía la cantidad de bienes en microeconomía tendría que estar asociada a una magnitud similar en macroeconomía. Al parecer la variable macroeconómica medible en unidades monetarias (Soles) sería la cantidad de Bienes de Capital o simplemente Stock de Capital.

La función Utilidad definida por W. Saslow, no es la Función Utilidad Económica, puesto que ello conllevaría a medir algo que nos es medible (grado de satisfacción en una persona al comprar un bien). Peor de acuerdo a la definición que se plantea en las ecuaciones (2.01) y (2.04), ésta más bien representaría la función

Utilidad Contable. Téngase en cuenta, que la utilidad (ventas menos costos) para un contador es diferente a la utilidad para un economista. El economista incluye en los costos el costo de oportunidad entre otros conceptos.

III. DISCUSIÓN

Una de las muchas suposiciones fundamentales de la teoría de Saslow es la existencia de una función Utilidad, que se supone que es medible (mensurable), pero lo que Saslow no tuvo en cuenta fue que existen dos tipos de funciones utilidad, una es la función utilidad económica, que es la que en principio el asume, pero que en realidad no es mensurable, porque se encuentra asociada a ella aspectos psicológicos [18], y como es de suponer, es difícil medir algo de esta naturaleza. La otra función utilidad, es la que habitualmente utilizan los contadores. Esta función si es cuantificable, y difiere como se dijo de la función utilidad económica.

En base a un análisis de las tablas 1 la riqueza por analogía corresponde al negativo del potencial de Helmholtz, según Saslow. El principio de Mínimo Potencial de Helmholtz, establece que: *“El valor de equilibrio de cualquier parámetro interno sin ligaduras de un sistema que se halla en contacto diatérmico con una fuente de calor, minimiza el potencial de Helmholtz a temperatura constante (igual a la de la fuente de calor)”*. Es decir, en todo proceso, siempre se producirá el mínimo de Potencial de Helmholtz. Este principio se cumple perfectamente en la naturaleza.

Si antepone el negativo a ese mínimo, lo que haremos será maximizar dicha función. Lo que Saslow, pretendía en su analogía, era que la riqueza se maximice. Si quitamos ese negativo, lo que tendremos será que la riqueza también tendrá que ser mínima. También consideramos, que la riqueza está constituida

básicamente de dos partes: una intangible (generada por ejemplo: en las cuentas bancarias) y otra tangible (generada por la cantidad de bienes que se posee).

Hasta hace unos años, muchos economistas creyeron, que la riqueza, por ejemplo en un país es una cantidad que siempre va en aumento. Los economistas verdes o también llamados economistas ecológicos, han dado un giro radical a este tipo de pensar, al afirmar que la riqueza de un país es constante, puesto que también se considera la riqueza natural y humana [13]. En esta condición, toda la riqueza constituida por la parte de bienes tangibles, son obtenidos mediante un proceso de transformación de los recursos naturales. Por tanto, consideramos que lo más conveniente debería ser la minimización de la extracción de los recursos naturales, tal como establecería la analogía entre el potencial de Helmholtz y la riqueza.

A pesar que hacer supuestos que en principio desconciertan a cualquier economista, esta formulación desarrollada por W. Saslow, encuentra que las variables macroscópicas, que definen un estado termodinámico, tienen sus respectivos análogos tanto en la Microeconomía como en la Macroeconomía. Saslow obtiene cosas muy interesantes en su teoría, llevado por analogía a la economía desde el punto de vista de la termodinámica. Muestra claramente las relaciones de Slutsky obtenidas del mismo modo que se obtienen las relaciones de Maxwell. Obtiene una relación de Gibbs – Duhem económica, que hasta esas fechas no era conocida. Además, deduce que la relación entre valor de cambio y valor de uso es una constante, idea propuesta por la teoría marginalista.

IV. CONCLUSIONES

Se obtuvo las relaciones de Slutsky por analogía con las relaciones de Maxwell y una relación de *Gibbs – Duhem*. La teoría de Saslow, permitió matematizar la propuesta de los “*marginalistas*” así como también encontrar expresiones que puedan ser usadas para definir escalas termométricas en economía, como un indicador del estado de la economía.

A pesar de todos estos logros alcanzados por la teoría de W. Saslow, no es del todo aplicable, por su consideración de que los sistemas económicos se encuentran en equilibrio. Condición que no es cierta en la realidad. Esta teoría, no podría ser aplicable a los procesos termodinámicos, ya que éstos se consideran cuasi-estáticos.

Además, debemos recordar, que en la sociedad, se producen factores externos al sistema, llámese, crisis, catástrofes, guerras; que pueden dar un giro completo a la economía de un país. En estas condiciones, la teoría de Saslow, no es aplicable, puesto que las funciones (Costo de los bienes de capital, cantidad de riqueza intangible, Balanza Comercial) en función de sus variables independientes se van dispersando, lo cual va incrementando el error al transcurrir el tiempo.

Proponemos un estudio de esta teoría, pero llevada a cabo desde el punto de vista de la Termodinámica de No Equilibrio, con la esperanza de poder tener resultados más próximos a la realidad. Incluso, se podría desarrollar una teoría desde un enfoque Mecánico Estadístico, con la finalidad de poder hacer correcciones, a la teoría de Saslow, bajo consideraciones microeconómicas. Se debe tener presente, que en la actualidad gran parte del análisis macroeconómico, se centra en el análisis microeconómico.

Concluimos finalmente, que la Teoría de W. Saslow de la analogía entre la Termodinámica y la Economía no es muy aplicable, por arrojar experimentalmente errores considerables y por considerar los sistemas económicos como sistemas de equilibrio.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Baierlein Ralph. *The Elusive Chemical Potential*. *American Journal Physic*. 69(4) Abril 2001.
- [02] Banco Central de Reservas del Perú. *Cuadros Históricos Anuales*. <http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/cuadros-anuales-historicos.html>. Consultado el día 08 de Junio del 2015
- [03] Banco Mundial. *Perú*. <http://datos.bancomundial.org/pais/peru>. Consultado el 15 de Junio del 2015.
- [04] Blanchard Olivier *et al*. *Macroeconomía*. Pearson Educación. Quinta Edición. Madrid – España. 2012.
- [05] Callen H. *Termodinámica: Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible*. Editorial AC. Madrid-España, 1986.
- [06] Caridad M. *Entropía y Procesos Productivos: Una aplicación a la economía ecuatoriana*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito – Ecuador. 1998.
- [07] Chakraborty, Chakrabarty *Econophysic and Sociophysic Trends and Perspectives*. Editorial Wiley VCH. Mörlenbach, República Federal de Alemania. 2006.
- [08] Erlichson H. *Internal Energy in the first law of thermodynamics*. *American Journal Physic*. 52 (7) Julio 1984.
- [09] Eyescon. *Temperatura Económica de Alemania*. <http://www.eyescon.com/ComentariosDetalle.aspx?cc=16>. Consultado el día 14 julio del 2015.

- [10] Georgescu R. *The Entropy Law and the Economic Process*. Editorial Harvard University Press. Cambridge, Reino Unido. 1971.
- [11] Greiner W. *Thermodynamics and Statistical Mechanics*. Editorial Springer. Segunda Edición. Estados Unidos. 1997.
- [12] Landau L., Lifshitz E. *Física Estadística*. Editorial Reverte S.A. Madrid – España. 1964.
- [13] Mankiw G. *Principios de Economía*. Editorial Cengage Learning. Sexta Edición. México D. F. –México, 2012.
- [14] Mantega R. *Introduction to Econophysics*. Cambridge University Press. Segunda Edición. Cambridge –Reino Unido. 2008
- [15] Marx K. *Manuscritos Económicos Filosóficos*. 1964. Página 35
- [16] Novalés Cinca A. *Econometría*. Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill. Madrid. 1193
- [17] Pérez Izquierdo A. *Max Planck La teoría Cuántica: La revolución de lo muy pequeño*. Grandes Ideas de la Ciencia. Editorial RBA. Navarra, España. 2012.
- [18] Pyndick R., Rubinfeld D. *Microeconomía*. Pearson Prentice Hall. Séptima Edición. España, 2009.
- [19] Richmond P. et al. *Econophysics & Physical Economics*. Editorial OXFORD University Press. Oxford, Reino Unido. 2013.
- [20] Saslow W. *An Economic analogy to Thermodynamics*. American Journal Physics. 67 (12). Diciembre 1999.
- [21] Tsirlin et al. *Thermodynamic Model of Capital Extraction in Economic Systems*. Interdisciplinary Description of Complex Systems
- [22] Weber H. y Arfken G. *Física Matemática: Métodos Matemáticos Para Ingeniería e Física*. Editorial Elseiver. Rio de Janeiro, Brasil. 2005.
- [23] Wikipedia. *Paul Samuelson*. https://es.wikipedia.org/wiki/Paul_Samuelson. 8 de Junio del 2015.
- [24] Zegarra Pinto J. *El Modelo de Progreso Técnico Deliberado, Perú 1950-2012*