

REICE
Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas
Abriendo Camino al Conocimiento
Facultad de Ciencias Económicas, UNAN-Managua

Vol.7, No. 14, julio - Diciembre 2019

REICE ISSN: 2308-782X

REICE | 77

<http://revistacienciaseconomicas.unan.edu.ni/index.php/REICE>
revistacienciaseconomicas@gmail.com

Entropía en los Modelos Macroeconómicos: Otra perspectiva de Función
de Producción

Entropy in Macroeconomic Models: Another perspective of Production
Function

Fecha recepción: octubre 16 del 2019
Fecha aceptación: diciembre 01 del 2019

Martin Pomares Calero
Docente de Departamento de Física
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
Correo: mpomares@unan.edu.ni o martinpomares@yahoo.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4994-0573>

DOI: <https://doi.org/10.5377/reice.v7i14.9375>



Derechos de autor 2019 REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas. Esta obra está bajo licencia internacional [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Copyright (c) Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas de la Unan- Managua.

Resumen.

El amplio concepto de entropía se ha venido desarrollando con gran aplicación en la economía, con diversas visiones, desde aplicar la termodinámica y sus leyes a los sistemas complejos, donde los sistemas económicos son un tipo de ellos, así como para comprender la reversibilidad o irreversibilidad productiva de un sistema en función de su Producto Interno Bruto. En este trabajo se aborda la entropía como una función de producción no neoclásica, para analizar el comportamiento del sistema macroeconómico de Nicaragua comprendido entre el año 2000 y 2010. Con el presente estudio se pudo comprobar la utilidad de la entropía como herramienta no neoclásica de la macroeconomía o bien como un aporte de la econofísica al análisis macroeconómico.

Palabras claves: Función de producción, entropía, econofísica, análisis macroeconómico.

Abstract

The broad concept of entropy has been developed with great application in economics, with diverse visions, from applying thermodynamics and its laws to complex systems, where economic systems are a type of them, as well as to understand reversibility or irreversibility. production of a system based on its Gross Domestic Product. In this work, entropy is approached as a non-neoclassical production function, to analyze the behavior of the macroeconomic system of Nicaragua between 2000 and 2010. With the present study it was possible to verify the usefulness of entropy as a non-neoclassical tool of macroeconomics or as an economic contribution to macroeconomic analysis.

Keywords: Function of production, entropy, economophysics, macroeconomic analysis.

Introducción

En todo mercado la base de su existencia del mismo no es sólo en el flujo del dinero, sino también en el cómo los productos o mercancías son enlazados en el mercado. Tales productos tienen una vida útil no siempre muy perdurable lo que influye en los precios de los mismos. En lo que productos, precios y tiempo de vida útil de los productos son un conjunto de variables determinantes del consumo en los mercados (ScalesAvery, 2012). Estas variables son determinantes en la calidad de los mercados, la cual está ligada a la entropía del sistema, lo cual se refleja en la función de producción tal como la función Cobb Douglas (De Pascale, 2012).

REICE | 79

En 1989, J. Rifkin, publicó el artículo “Entropy in the Greenhouse World” en el cual mostró cómo la segunda ley de la termodinámica impacta los procesos económicos que afectan al medioambiente (De Pascale, 2012).

La primera y la segunda ley de la termodinámica son, respectivamente, la ley de la conservación de la energía y la ley de los procesos irreversibles o “ley de la entropía”. Esta segunda ley, permite determinar las direcciones en los procesos termodinámicos basados en las variaciones entrópicas que experimenta el sistema. Por lo cual a su vez la entropía mide el grado de irreversibilidad del sistema (De Pascale, 2012).

Cómo antecedente tenemos que en Nicaragua, no ha habido influencia de la Econofísica para estudiar el comportamiento macroeconómico basado en las condiciones entrópicas macroeconómicas de la Economía. A su vez, éste trabaja trata de dar pautas para considerar otros métodos de análisis no neoclásicos dentro de la economía contemporánea del Siglo XXI. El alcance de ésta investigación consiste en la aplicabilidad de métodos de la termodinámica o de la Econofísica en el análisis de evolución macroeconómica. Los objetivos de ésta investigación son: (i) estimar la función de producción o de entropía del sistema macroeconómico de Nicaragua, (ii) formular una función de producción para macrosistemas que permita analizar la irreversibilidad evolutiva del sistema (iii) analizar la evolución macroeconómica de Nicaragua en el período del año 2000 y 2010 a partir de la entropía estimada.

Fundamentos Teóricos

La entropía (S) puede ser estimada en función del calor intercambiado (δQ) entre el sistema y sus alrededores considerando que el sistema está sometido a temperatura constante (T) definiéndose como

$$S = \oint \frac{\delta Q}{T} \quad (1)$$

Desde el punto de vista de la Econofísica, la temperatura económica T es proporcional al PIBper cápita para un sistema macroeconómico (Chakrabarti et al., 2006). Por lo cual, $1/T$, el factor integrante depende del capital promedio (E) de tal manera que $E = \alpha NT$. Donde N es el número de agentes del sistema económico en cuestión, y α es una constante de proporcionalidad (Chakrabarti et al., 2006). Por otra parte, al considerar representar la diferencial exacta de entropía de su definición anterior, es posible sustituir el diferencial de calor (calor intercambiado) δQ en base a la primera ley de la termodinámica es posible reescribir la diferencial exacta de entropía como

$$dS(T, V) = \frac{\partial S}{\partial T} dT + \frac{\partial S}{\partial V} dV = \frac{1}{T} \frac{\partial E}{\partial T} dT + \frac{1}{T} \left(\frac{\partial E}{\partial V} + p \right) dV \quad (2)$$

donde p es la presión (presión económica) que experimenta el sistema.

El concepto de entropía fue primeramente introducido en la economía por N. Georgescu-Roegen (1974), y recientemente por D. K. Foley y J. Mimkes (19994). Desde el punto de vista de la Econofísica es comprendido bajo el concepto de función de producción o bien “entropía económica” definida como

$$S(N_k) = \ln P(N_k) \quad (3)$$

Donde $P(N_k)$ es la distribución polinomial¹ de N_k bienes o categorías. En sistemas estocásticos, la entropía reemplaza a la función de producción Cobb Douglas dentro de la economía estándar. Para esto, hay diversas razones a considerar, dentro de las cuales tenemos: (i) La entropía es una función natural sin parámetros adicionales como el que de elasticidad que usa la función Cobb Douglas, (ii) tanto la función de entropía como la de Cobb Douglas se ajustan bastante bien a los mismos datos, lo que implica además el mismo comportamiento para ambas funciones, (iii) la entropía caracteriza el cambio de distribución de productos y finanzas durante los procesos de producción y comercio. El comercio de productos es generalmente terminado cuando el equilibrio es alcanzado. Cuando la variación de entropía en el sistema es positiva, consideramos una distribución de bienes y servicios creando un desorden, en cambio, si la variación de entropía es negativa, entenderemos que en el sistema se colectan productos y dinero creando orden en el sistema. Sin embargo, es consideración del autor estudiar la entropía para un sistema macroeconómico desde el punto de vista de dependencia macroscópica o de macro-modelos a como se presenta en la ecuación (2), considerando como aproximación una economía cerrada.

Todo sistema complejo experimenta algunas estructuras disipativas propias de su organización las cuales son consecuencia de ligaduras externas mantenidas en valores tales que obligan al sistema a alcanzar estados lejos del equilibrio. Mientras tanto, el sistema mismo evoluciona hacia un nuevo orden de complejidad intercambiando materia, información y energía. Tal evolución opera mediante el denominado “orden por fluctuaciones”, que corresponde a fluctuaciones periódicas que el sistema experimenta en torno a su equilibrio. En sistemas inteligentes y de gran complejidad este fenómeno permite una constante “auto-organización” (Gómez, 1977). Según Goodwin (1976) éstos procesos fluctuantes también se denominan “Círculos Límite”, lo cual en el caso de aplicarse a economía los sistemas se estudian desde el punto de vista de modelos matemáticos de la teoría del equilibrio (Gómez, 1977). En adición a lo antes expuesto, una característica del equilibrio es el máximo de entropía (Kåberger y Månsson, 2001).

¹ La *distribución polinomial* se define como $P(N_k) = \frac{N_0!}{N_1! \dots N_k!} \cdot q_1^{N_1} \cdot \dots \cdot q_k^{N_k}$, y N_k son las diversas categorías para el cual $N_0 = N_1 + \dots + N_k$.

Sin embargo, en el estado de desequilibrio, algunos procesos conducen a cierta producción de entropía. En lo cual algunos sistemas pueden intercambiar entropía permitiendo que la entropía de dicho sistema permanezca constante (Kåberger y Månsson, 2001).

Por otra parte, la aplicación del concepto de entropía y las leyes de la termodinámica a la economía y la ecología establece otras perspectivas sistemas de aplicación rompiendo los fundamentos neoclásicos de la economía. Según GarretHardin (1993), neo-Mathusiano del Siglo XX, la segunda ley de la termodinámica es la base fundamental que establece los límites para alcanzar el nivel de población sustentable (Schwartzman, 2007). De manera equivalente Georgescu-Roegen une el concepto entrópico a las consideraciones schumpeterianas de la economía considerando con mayor énfasis las transformaciones irreversibles más que en los puntos de equilibrio de los sistemas y sus regularidades (Carpintero, 2005). A consecuencia, del desarrollo humano se genera un incremento entrópico debido a la degradación de los recursos naturales, generalmente de carácter irreversible. En este caso la entropía mide asimismo los límites de desarrollo sostenible (Schwartzman, 2007). Por otra parte, es importante remarcar la existencia de estados de desequilibrio los que están más relacionados a los procesos inflacionarios. La visión monetarista de la inflación — la inflación es siempre y dondequiera un fenómeno monetario. Por otra parte, la inflación es un reflejo de inbalances en los mercados de productos y trabajos. Esta visión es inconsistente al no considerar el exceso de demanda por el dinero como fuente de presión para la inflación (Bardsen et al., 2005).

Material y Método

Para el análisis macroeconómico, podemos reescribir la diferencial exacta de la entropía y hacerla depender del capital (E), y del volumen (V), para lo cual además consideramos que la presión económica puede reescribirse en función del trabajo y el volumen como $p = W/V$. Por otra parte, considerando que la energía es proporcional a la temperatura, podemos reescribir la diferencial exacta de la entropía en función de la energía (E) o capital per cápita (Producto Interno Bruto, PIB) para nuestra investigación, y del volumen (V), que económicamente corresponde al volumen de población trabajadora activa, así

mismo entenderemos por trabajo (W) como al stock de capital; de tal manera que al integrar la entropía puede ser expresada como:

$$S(E, V) = \alpha N \ln E^2 + W \ln V = \ln[E^{2\alpha N} V^W] = \ln \xi$$

(4)

donde $\xi = E^{2\alpha N} V^W$, y α es una constante de proporcionalidad de calibración, que relaciona a la energía con la temperatura de acuerdo a (Chakrabarti et al., 2006). La ecuación (4) representa a una función de producción macroeconómica dependiente del capital y de la población trabajadora activa. En nuestro caso consideraremos que α adquiere el valor de la unidad considerando que económicamente la temperatura y la energía adquieren el significado de unidad monetaria como una primera aproximación para este estudio; en el caso de N adquieren el valor de la unidad al considerar que específica estudiamos como único agente el sistema macroeconómico donde el capital corresponde al PIB per cápita de Nicaragua.

Al estimar la elasticidad entrópica, tenemos que

$$\frac{dS}{S} = \frac{d\xi}{\xi \ln \xi} = \frac{1}{\ln[E^{2\alpha N} V^W]} \left[2\alpha N \frac{dE}{E} + W \frac{dV}{V} \right]$$

(5)

La elasticidad entrópica mide en nuestro caso la contribución de la población trabajadora activa con respecto al PIB, considerando el desarrollo mismo del PIB, es decir la propensión de producción considerando la población trabajadora activa. La entropía funciona como una función de producción en donde la tecnología está implícita, y por eso sólo depende del capital (PIB en nuestro caso), y de la población trabajadora activa, ya que el desarrollo generado por la población trabajadora activa depende de la tecnología para producir cierto PIB. Por otra parte la elasticidad entrópica mide la productividad relativa de entropía de un sistema macroeconómico, lo cual sería el sentido económico no neoclásico de la utilidad de la función de producción denominada entropía.

Resultados y Análisis

La Tabla 1 presenta los resultados de la estimación de entropía como función de producción para el sistema macroeconómico de Nicaragua, en el cual se analizan datos del período 2000 – 2010 (Banco Central de Nicaragua). Se consideró en el presente modelo que la macroeconomía nicaragüense obedece a un tipo de sistema cerrado, al tomar en cuenta las pocas exportaciones del mismo, no considerando también sus importaciones por estar ya implícitamente inscritas en el PIB. Así mismo, se estudia el comportamiento económico en función de la entropía del sistema, para la cual se puede observar que al estimar la variación entrópica la macroeconomía se observa que el país experimenta un cierto crecimiento económico entre el 2000 y el 2003 con cierta recesión entre el 2004 y el 2005, incrementando su productividad en el 2006, y luego una nueva recesión para el 2007 para luego tener un incremento entre el 2008 y 2009, y con una final recesión en el 2010. Esto puede verse en como la variación entrópica cambia de negativo (productividad) a positivo (recesión) comparada con el porcentaje de incremento del PIB. En la última columna se presenta la estimación de la elasticidad entrópica la cual es muy pequeña en comparación a la variación entrópica la cual nos da una idea de cómo la productividad de entropía relativa se desarrolla en el sistema, o bien dicho de otra manera la elasticidad en este trabajo es una medida relativa para medir el incremento de productividad.

Año	POP (En miles)	PIB (E)	%	Inversión	PEA (V)	Stock capital (W)	de Entropía (S)	□S	Elasticidad dS/S
2000	4866.17	10048175.9	3.0	3278.82	32619.95	13805545.87	1.43E+08		
2001	4952.23	10250081.9	2.0	3003.67	33027.34	12397886.88	1.29E+08	-1.45E+07	4.01E-10
2002	5035.65	10294676.7	0.4	2790.54	33528.62	11468315.93	1.20E+08	-9.50E+06	1.98E-10
2003	5116.14	10531080.8	2.3	2761.71	34084.62	11095044.04	1.16E+08	-3.71E+06	5.29E-10
2004	5193.39	11050241.8	4.9	3056.79	34683.30	11703547.94	1.22E+08	6.55E+06	9.09E-10
2005	5267.15	11532017.5	4.4	3402.80	35277.74	12484012.71	1.31E+08	8.37E+06	7.68E-10
2006	5338.29	11937530.9	3.5	3397.97	35869.55	12042818.31	1.26E+08	-4.42E+06	6.69E-10
2007	5407.78	12197173.1	2.2	3759.94	36453.74	13042027.21	1.37E+08	1.07E+07	4.28E-10
2008	5475.50	12506261.8	2.5	3791.13	37035.11	12825209.57	1.35E+08	-2.07E+06	4.83E-10
2009	5541.17	12311088.1	-1.6	3040.65	37613.74	10449454.31	1.10E+08	-2.48E+07	-1.48E-10
2010	5604.45	12830206.6	4.2	3345.33	38182.03	11031347.13	1.16E+08	6.30E+06	8.23E-10

Tabla 1. Estimación de la entropía, variación entrópica y elasticidad entrópica comprendida entre el período 2000 al 2010 (Fuente: Banco Central de Nicaragua, PWT 7.1).

Puede verse que la coincidencia en signo con el incremento porcentual del PIB y la elasticidad lo cual es una equivalencia de gran importancia para acompañar el análisis. Esto implica que la elasticidad efectivamente nos muestra la productividad del sistema. Desde el punto de la econofísica al analizar la variación entrópica del sistema podemos agregar que el sistema se comporta como un sistema reversible entre los períodos del 2000 al 2003, del 2005 al 2006, y del 2008 al 2009, en cambio se comporta de manera irreversible entre el 2004 y el 2005, en el año 2007, y en el año 2010.

Conclusiones

En base a los resultados presentados anteriormente es posible concluir que la entropía como función de producción es una herramienta teórica de análisis a ser considerada en macroeconomía y que desde el punto de vista de la econofísica permite evaluar la evolución del PIB y su comportamiento en cierto período de tiempo. Esto permite comprender si el sistema puede ser reversible o irreversible, productivo o no-productivo desde el punto de vista neoclásico. Obviamente, el presente trabajo trata de despertar nuevos métodos matemáticos de análisis para sistemas complejos lo cual va de la mano con las ideas innovadoras de Georgescu-Roegen (1974) dentro de la economía y su vinculación con la física. Es claro que aunque aún no se analizan muchos porque basados en la función de producción denominada entropía, si se puede estudiar con ella otros aspectos sistémicos como es el efecto de la evolución productiva que genera entropía o que bien la transfiere a otro sistema. Es importante considerar nuevos trabajos de investigación en los cuales el sistema a estudiar sea abierto, analizando cómo la entropía contribuye o no con el desarrollo o subdesarrollo del mismo.

Referencias Bibliográficas

Scales Avery, J. (2012) Entropy and Economics. *Cadmus Journal*. Volume 1, Issue 4.

Jaynesy, E. T. (1991) HOW SHOULD WE USE ENTROPY IN ECONOMICS?

REICE | 86

Chakrabarti, B. K., Chakrabarti, A., Chatterjee, A., (2006) *Econophysics and Sociophysics. Trends and Perspectives*. Willey-VCH.

Bardsen, Gunnar., et al. (2005) *The Econometric of Macroeconomics Modelling*.

De Pascale, Angelina (2012) Role of Entropy in Sustainable Economic Growth. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*. Volume 2, Special Issue 1, pp. 293-301.

Goodwin, B. C. (1976) Estabilidad biológica. En “hacia una biología teórica”. Editado por C. H. Waddington y otros. Alianza Editorial Madrid. Pág. 424.

Kåberger, T y Månsson, B. (2001) Entropy and economic process — physics perspectives. *Ecological Economics*, 36. 165 – 179.

Gómez G., L. J. (1977) La Entropía y sus relaciones con la Economía y la Ecología. Primer coloquio sobre termodinámica y energía. Facultad de Ciencias Humanas y Económicas. Universidad Nacional. Medellín.

Schwartzman, D. (2007) The Limits to Entropy: the Continuing Misuse of Thermodynamics in Environmental and Marxist theory. In Press, Science & Society.

Hardin, Garrett J. 1993. *Living within limits : ecology, economics, and population taboos*. New York: Oxford University Press.

Carpintero Redondo O. (2005). El desafío de la bioeconomía en *Revista Ecología Política* Nº 30, Barcelona.

PWT 7.1. Disponible en https://pwt.sas.upenn.edu/php_site/pwt71/pwt71_form.php