reciamuc
Revista científica de investigación actualización del mundo de las ciencias

Sebastián Araujo Soria [a]

Las propiedades emergentes de la sociedad como un sistema complejo

Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias. Vol. 2 núm., 2, Junio, ISSN: 2588-0748, 2018, pp. 391-401

DOI: 10.26820/reciamuc/2.2.2018.391-401

Editorial Saberes del Conocimiento

Recibido: 16/02/2018 Aceptado: 22/05/2018

a. Universidad Regional Amazónica Ikiam; jose.araujo@ikiam.edu.ec

RESUMEN

Este artículo presenta los fundamentos que permiten caracterizar a las sociedades humanas como sistemas complejos. Se comienza estableciendo los axiomas que debe cumplir un sistema social así como las características generales de un sistema complejo. La cuantificación de la complejidad de los sistemas sociales se obtiene usando el concepto de la entropía de Tsallis. Para que el lenguaje matemático usado se convierta en una herramienta de formalización más de encriptación, se mantiene en un nivel asequible tanto a las ciencias exactas como a las ciencias humanas. Se muestra la deducción completa de la entropía de Tsallis como una propiedad no extensiva a partir de la redefinición de la función logarítmica como el logaritmo-q. La utilización de la no extensividad permite visualizar la entropía social y definir el concepto de progreso. Terminamos recalcando que el progreso social no es un determinismo sino que recae en la libertad de los individuos humanos que forman parte de la sociedad.

Palabras Claves: Entropía de Tsallis, progreso social, propiedades emergentes, sistema complejo, sociedad.

ABSTRACT

This paper presents the foundations that allow us to characterize human societies as complex systems. We begin by establishing the axioms that a social system must fulfill as well as the general characteristics of a complex system. The quantification of the complexity of social systems is obtained using the concept of Tsallis entropy. The complete deduction of the Tsallis entropy is shown as a non-extensive property starting from the redefinition of the logarithmic function as the q-logarithm. The use of non-extensivity allows visualizing social entropy and defining the concept of progress. We conclude by stressing that social progress is not deterministic, but rather relies on the freedom of individual humans who are part of society.

Key Words: Complex system, emergent properties, social progress, society, Tsallis entropy.

Introducción.

Existe una controversia no enteramente resuelta acerca de si es posible utilizar el aparataje teórico de las ciencias exactas, de la física en particular, para poder describir los sistemas formados por un gran número de seres humanos [1]. Para poder estudiar los sistemas sociales usando leyes físicas partiremos de la axiomatización de tales de tipos de sistemas como [2]:

- **A1.** Una sociedad es un conjunto de individuos interconectados.
- **A2.** La sociedad tiene propiedades sistémicas o globales. Algunas de estas propiedades son reductibles a los comportamientos individuales, mientras que otras son emergentes, es decir, no las poseen los individuos.
- **A3.** El comportamiento de cada individuo no está determinado únicamente por su patrimonio genético sino que debe incluir toda su psicología surgida de la interacción del individuo con su grupo más cercano. La sociedad como un todo no puede por lo tanto influir ni en el patrimonio genético ni en la psicología individual de sus miembros [2]:

El siguiente paso fundamental para estudiar a la sociedad como un sistema físico es pasar de la teoría general de los sistemas a los sistemas complejos. El concepto de la complejidad es un tema de amplia investigación en la actualidad y engloba toda una variedad de sistemas como por ejemplo: las estructuras magnéticas dendríticas [3], las estructuras fotónicas que dan lugar a la iridiscencia de las alas de los insectos [4], los materiales granulares [5], las magnitudes de los terremotos en los catálogos sísmicos [6], las leyes evolutivas de la biología [7] o las bifurcaciones imprevisibles de los fenómenos sociales [8].

Debido a la amplia variedad de sistemas que pueden ser considerados complejos, no existe en la actualidad una definición única que permita definir unívocamente a este tipo de sistemas. Sin embargo se pueden detallar algunas características imprescindibles que deben poseer [9]:

1. Correlaciones de largo rango tanto en el espacio como en el tiempo.
2. Procesos no Markovianos (tienen memoria a largo plazo).
3. Ruidos aditivos y multiplicativos en sus ecuaciones mesoscópicas tipo Langevin.
4. Caos débil con exponentes de Lyapunov que tienden a cero.
5. Geometría multifractal.
6. Largo rango de interacción en sistemas de muchos cuerpos.
7. Ecuaciones mesoscópicas de Fokker-Planck no lineales y/o no homogéneas.

Vale insistir que los sistemas complejos pueden tener alguna o todas las características antes mencionadas. En el caso particular que nos ocupa, los sistemas sociales, el punto principal que garantiza su complejidad y que es común con la axiomatización planteada al inicio, es la irreductible interacción entre todos los individuos que conforman el cuerpo social.

La entropía de los sistemas complejos

Una de las propuestas que más se utiliza en la actualidad para trabajar con los sistemas complejos es la de Constantino Tsallis que consiste en la redefinición de la entropía [10]. Tsallis considera que la entropía debe ser una propiedad no extensiva en los sistemas complejos a diferencia de la entropía clásica S de Boltzman-Gibbs que si lo es. Por extensividad entendemos que la entropía de un sistema formado por dos subsistemas A y B debe ser igual a suma de las entropías de los dos subsistemas por separado:

$$S(A+B) = S_A + S_B \qquad (1)$$

Donde S es la entropía clásica de Boltzman-Gibbs:

$$S = -k \sum_{i=1}^{W} p_i \, lnp_i \qquad (2)$$

Con W el número total de configuraciones cuyas probabilidades son el espacio muestral $\{p_i\}$ *y k es la constante de Boltzman.*

La entropía de Tsallis S_q*en cambio está definida por:*

$$S_q = k \sum_{i=1}^{W} p_i \, ln_q \frac{1}{p_i} \qquad (3)$$

Siendo ahora la novedad la redefinición de la función logaritmo como:

$$ln_q x = \frac{x^{1-q}-1}{1-q} \qquad (4)$$

El parámetro q que aparece en esta definición puede en principio ser cualquier número real y es fácil mostrar tomando el límite de la ecuación (4), que cuando q = 1 recuperamos la función logaritmo natural. En q = 1 la entropía de Tsallis es igual por lo tanto a la entropía de Boltzman-Gibbs.

El logaritmo-q de la ecuación (4) tiene la importante propiedad que define la no extensividad de los sistemas:

$$ln_q(xy) = ln_q x + ln_q y + (1-q) ln_q x ln_q y \qquad (5)$$

Esta propiedad se prueba fácilmente si consideramos el lado izquierdo de la ecuación (5) y la definición (4) para obtener:

$$ln_q(xy) = \frac{(xy)^{1-q}-1}{1-q} \quad (6)$$

El lado derecho de la ecuación (5) en cambio se desarrolla de una manera más laboriosa como:

$$\frac{x^{1-q}-1}{1-q} + \frac{y^{1-q}-1}{1-q} + (1-q)\left(\frac{x^{1-q}-1}{1-q}\right)\left(\frac{y^{1-q}-1}{1-q}\right) \quad (7)$$

Que se pueden trabajar como fracciones homogéneas con denominador común $1/(1-q)$ y cuyo numerador es:

$$x^{1-q} + y^{1-q} - 2 + x^{1-q}y^{1-q} - x^{1-q} - y^{1-q} + 1 \qquad (8)$$

Quedando finalmente el lado derecho de la ecuación (5) reducido a:

$$\frac{x^{1-q}y^{1-q}-1}{1-q} \qquad (9)$$

Es evidente que las ecuaciones (6) y (9) son iguales lo que demuestra la propiedad de no extensividad del logaritmo-q.

Las propiedades emergentes de los sistemas sociales

Si bien existen numerosas aplicaciones de la entropía de Tsallis a diversos tipos de sistemas sociales como son por ejemplo [9]: las fluctuaciones del precio de las acciones en la bolsa de valores, la repetición de las palabras en una lengua o los procesos de memorización en la psicología cognitiva, no existe antes del presente artículo un estudio que permita entender el axioma **A2**, es decir, por qué las sociedades exhiben propiedades emergentes.

Una explicación del retraso de la física para tratar con las propiedades emergentes, puede tener origen en la alta influencia que la escuela positivista de pensamiento tiene sobre ésta ciencia. Para los positivistas, la física no tiene como finalidad la explicación de la estructura interna del mundo sino solamente el proveer descripciones compactas que sean útiles para hacer predicciones falsables en el laboratorio [11]. Dado que las propiedades emergentes de la sociedad no pueden someterse a pruebas experimentales, esto explicaría el poco interés de los físicos en este campo del conocimiento.

Es así que en la actualidad las propiedades emergentes de los sistemas comienzan apenas a ser estudiadas y teorizadas, pero un hecho interesante es que la entropía puede ser la propiedad que permita caracterizar dicho comportamiento emergente como lo ilustran las referencias [12,13,14].

Podemos entonces entender que una propiedad emergente en un sistema social, se produce cuando la entropía de los miembros del sistema se suma y da como resultado un valor que puede ser mayor o menor que la suma de las entropías por separado. Es decir, en una propiedad emergente la entropía del sistema social tiende a aumentar o disminuir con la interacción de los individuos pero nunca a permanecer constante. Esto se puede cuantificar usando la entropía de Tsallis de la ecuación (3) para mostrar que la entropía S_q de un sistema complejo, la sociedad por ejemplo, compuesto de dos subsistemas A y B debe ser calculada para la probabilidad conjunta $p_{ij}^{A+B} = p_i^A p_j^B$:

$$S_q(A+B) = k \sum_{i,j=1}^{W} p_i^A \, p_j^B \, ln_q \frac{1}{p_i^A p_j^B} \qquad (10)$$

Usando la propiedad de no extensividad (5) la expresión anterior se desarrolla como:

$$\frac{S_q(A+B)}{k} = \sum_{i,j=1}^{W} p_i^A \, p_j^B \, . \\ . \left[ln_q \frac{1}{p_i^A} + ln_q \frac{1}{p_j^B} + (1-q) ln_q \frac{1}{p_i^A} ln_q \frac{1}{p_j^B} \right] \qquad (11)$$

El lado derecho de la ecuación (11) contiene varios términos que deben ser reescritos en función de la entropía de Tsallis. A modo ilustrativo mostramos el primero de ellos:

$$\sum_{i,j=1}^{W} p_i^A \, p_j^B \, ln_q \frac{1}{p_i^A} = \sum_{i=1}^{W} p_i^A \, ln_q \frac{1}{p_i^A} . \sum_{j=1}^{W} p_j^B \qquad (12)$$

Donde hemos separado las sumatorias pues los índices i y j son independientes. Si usamos ahora la definición de S_qy la condición de normalización $\sum_{j=1}^{w} p_j^B = 1$obtenemos:

$$\sum_{i,j=1}^{W} p_i^A \, p_j^B \, ln_q \frac{1}{p_i^A} = \frac{S_q(A)}{k} . 1 \qquad (13)$$

De manera similar podemos proceder con los demás términos para llegar a demostrar finalmente que [10]:

$$\frac{S_q(A+B)}{k} = \frac{S_q(A)}{k} + \frac{S_q(B)}{k} + (1-q)\frac{S_q(A)}{k}\frac{S_q(B)}{k} \qquad (14)$$

Si comparamos la ecuación (1) con la ecuación (14) observamos que ésta encierra toda la posible explicación de las propiedades emergentes, pues dependiendo del valor del parámetro q podemos obtener que la entropía aumente o disminuya mediante la sóla interacción de A y B.

Conclusiones.

Si bien la ecuación (14) es una expresión general de la entropía de Tsallis para cualquier tipo de sistema complejo, debemos insistir que en el caso de la sociedad, A y B son individuos humanos dotados de conciencia y por lo tanto con la capacidad de libre albedrío.

Si relacionamos la entropía como inversamente proporcional al orden en la sociedad, podemos por lo tanto concluir que está en la libre elección de los individuos el interactuar para generar un progreso social $q > 1$donde se cumpla que:

$$S_q(A+B) < S_q(A) + S_q(B).$$

Es decir, donde la entropía de los individuos interactuando juntos es menor que la entropía de los humanos individuales tomados como sistemas separados.

Referencias.

[1]Tenecela, H. 2017. Controversia irresuelta en la teoría de sistemas. *Universitas,* 26, pp. 221-234.

[2] Bunge, M. *Epistemología*, 5ta Ed, México: Siglo XXI, 2006, p. 175.

[3] Lévy, J-C. S., 2015. Complexité et désordre des structutures magnétiques, application aux réseaux

neuronaux. en: *Complexité et désordre: eléments de réflexion*. J-C. S. Lévy editor. Grenoble Sciences . pp. 45-62.

[4] Berthier. S., 2015. Désordre et complexité dans les structures photoniques naturelles: le prix del'économie et de la multifunctionnalité. En*: Complexité et désordre: eléments de réflexion*. J-C. S. Lévy editor. Grenoble Sciences. pp. 63-81.

[5] Rivier. N., 2015. Matériaux granulaires. Désordre, complexité et theorie des graphes. En*: Complexité et désordre: eléments de réflexion*. J-C. S. Lévy editor. Grenoble Sciences. pp. 187-196.

[6] Araujo, S., 2017. Computation of Nonextensivity Parameter in the Fragment-Asperity model for the Ecuadorian Seismic Catalog by a Bayesian Approach. *Revista Cubana de Física*, *34*(2), pp.112-115.

[7] Pictet, R., 2015. Complexité, ordre et hasard en biologie: le cas de l'évolution. En: *Complexité et désordre: eléments de réflexion.* J-C. S. Lévy editor. Grenoble Sciences. pp. 83-96.

[8] Grosseti. M., 2015. L'imprévisibilité dans le monde social. In: Complexité et désordre: eléments de réflexion. J-C. S. Lévy editor. Grenoble Sciences. pp. 97-112.

[9] Tsallis, C., 2011. Entropy: A unifying path for understanding complexity in natural, artificial and social systems. In: *Complexity Socio-Technical Systems - Understanding an Influencing Causality of Change*, edited by William B. Rousse, Kenneth R. Boff an Penelope Sanderson. 2011.

[10] Tsallis, C., 2009. *Introduction to nonextensive statistical mechanics: approaching a complex world*. Springer Science & Business Media.

[11] DeLanda, M. 2011. Emergence, Causality and Realism. In: *The Speculative Turn, Continental Materialism and Realism.* L. Bryant, N. Srnicek, and G. Harman, eds., re.press.. Australia, p. 387.

[12] Johnson IV, J.J., Tolk, A. and Sousa-Poza, A., 2013. A Theory of emergence and entropy in systems of systems. *Procedia Computer Science*, *20*, pp.283-289.

[13] Martínez-Berumen, H.A., López-Torres, G.C. and Romo-Rojas, L., 2014. Developing a method to evaluate entropy in organizational systems. *Procedia Computer Science*, *28*, pp.389-397.

[14] Guerin, S. and Kunkle, D., 2004. Emergence of constraint in self-organizing systems. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, *8*(2), pp.131-146.