

## RESEARCH NOTE

# BOLTZMANN Y LA CONEXIÓN DE LA TERMODINÁMICA CON LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES

## *Boltzmann and the Connection of Thermodynamics with the Archaeology of Social Phenomena*

*Pascual Izquierdo-Egea*

Laboratory of Theoretical Archaeology, Graus, Spain  
([arqueologia@laiesken.net](mailto:arqueologia@laiesken.net))

**RESUMEN.** Gracias a la afinidad entre conflictividad y entropía, la célebre ecuación de Ludwig Boltzmann se puede adaptar al contexto funerario de la arqueología de los fenómenos sociales para medir el impacto de ese parámetro social y el riesgo de colapso en el seno de una civilización antigua. Nuevamente, se recurre al ejemplo de la Mesoamérica prehispánica para demostrarlo.

**PALABRAS CLAVE.** Boltzmann; termodinámica; arqueología; fenómenos sociales; conflictividad; entropía; colapso.

**ABSTRACT.** Thanks to the affinity between conflict and entropy, the famous Ludwig Boltzmann's equation can be adapted to the mortuary context of the archaeology of social phenomena to measure the impact of that social parameter and the collapse risk within an ancient civilization. The example of pre-Hispanic Mesoamerica is used to demonstrate it.

**KEYWORDS.** Boltzmann; thermodynamics; archaeology; social phenomena; conflict; entropy; collapse.

## INTRODUCCIÓN

Desde el verano de 2012 se conoce la afinidad existente entre la entropía y la conflictividad, dos parámetros fundamentales de la termodinámica y la *arqueología de los fenómenos sociales* (Izquierdo-Egea 2015a, 2015b, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2018c), respectivamente.

Si bien hasta ahora no se había empezado a concretar empíricamente la conexión entre ambas disciplinas científicas, esta breve comunicación aporta evidencias materiales de la Mesoamérica prehispánica para demostrar dicho vínculo, procedentes del registro funerario recuperado en la cuenca del río Balsas, México (Maldonado 1980).

La técnica estadística que aquí se presenta ha demostrado su efectividad y solvencia para detectar momentos



Figura 1. Mapa de Mesoamérica. Sitios citados, de oeste a este: 1) cuenca del río Balsas (México), 2) Monte Albán (México), 3) Uaxactún (Guatemala) y 4) Barton Ramie (Belice). El primero suministra una serie temporal completa abarcando desde el Preclásico Medio hasta el Posclásico Tardío.

*Recibido: 17-12-2018. Aceptado: 24-12-2018. Publicado: 31-12-2018.*

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea. English proofreading by Kirby Farah.  
Arqueol. Iberoam. Open Access Journal. License CC BY 3.0 ES. <http://purl.org/aia/4011>.

críticos, como el colapso, en el desarrollo de las sociedades antiguas. También ha sido probada con éxito en numerosos casos correspondientes a civilizaciones tan dispares como la argárica de la Edad del Bronce o la ibérica del siglo V antes de nuestra era, entre otras muchas, que verán la luz más adelante.

## LA ECUACIÓN DE BOLTZMANN

La célebre ecuación de Boltzmann (v. g. Villani 2008: 17; Jaynes 1965) relaciona de forma directa la entropía ( $S$ ) con el número de estados microscópicos del sistema ( $W$ ) correspondientes al macroestado, introduciendo una constante ( $k$ ) que aquí se descarta:<sup>1</sup>

$$S = k \cdot \ln W \quad (1)$$

Asumiendo que la conflictividad ( $C$ ) es una forma de entropía ( $S$ )<sup>2</sup> y que, en el contexto funerario,  $W$  se convierte en un nuevo índice ( $iB$ )<sup>3</sup> que puede medir la inestabilidad de una formación social o el riesgo de colapso con mayor precisión, entonces, la anterior ecuación se transforma en la siguiente expresión:

$$iC = \ln iB \quad (2)$$

La variación temporal de la conflictividad social ( $iC_t$ ) se calcula dividiendo el valor que toma este parámetro en un momento dado ( $C_t$ ) por el que tiene en el momento anterior ( $C_{t-1}$ ):

$$iC_t = \frac{C_t}{C_{t-1}} \quad (3)$$

Si despejamos el logaritmo neperiano de  $iB$  ( $\ln iB$ ) en la expresión (2), se obtiene:

$$iB = e^{iC} \quad (4)$$

<sup>1</sup> En el marco social en que nos movemos no tiene sentido el uso de la constante de Boltzmann, pues al introducirla en los cálculos se obtendrían resultados disparatados.

<sup>2</sup> Este postulado se origina cuando se comparan entre sí las ecuaciones de la entropía ( $dS = \delta Q/T$ ) y la conflictividad social ( $C = D/R$ ), dos magnitudes macroscópicas, observando una analogía teórica entre las mismas. De hecho, el calor ( $Q$ ) es una variable microscópica equiparable a la naturaleza de la desigualdad ( $D$ ) como parámetro social. Igualmente, la temperatura ( $T$ ) es una magnitud macroscópica como la riqueza relativa ( $R$ ).

<sup>3</sup> Se bautiza así en honor a Ludwig Boltzmann (1995).

En la ecuación del índice de Boltzmann ( $iB$ ),  $e$  es el número natural ( $e = 2.718$ ). Se puede ir más allá y conformar otro nuevo índice de Boltzmann basado en el índice de riesgo de colapso ( $iK$ ) dado a conocer recientemente (Izquierdo-Egea 2018b). De tal manera, tendríamos dos ecuaciones para  $iB$ :

$$iB_1 = e^{iC} \quad (5)$$

$$iB_2 = e^{iK} \quad (6)$$

Para calcular  $iK$  se emplea la ecuación del colapso (Izquierdo-Egea 2018b: 24):

$$iK = \frac{iC}{iR} \quad (7)$$

La variación temporal de la riqueza relativa o actividad económica ( $iR$ ) se calcula dividiendo el valor que toma en un periodo determinado ( $R_t$ ) por el que tiene en el periodo anterior ( $R_{t-1}$ ):

$$iR_t = \frac{R_t}{R_{t-1}} \quad (8)$$

## RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MESOAMÉRICA ANTIGUA

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en la Mesoamérica prehispánica representada por la cuenca del río Balsas, México (Izquierdo-Egea 2014). Compárense los datos de los índices  $iB_1$  e  $iB_2$  con  $iK$  para apreciar su mayor precisión en la estimación del riesgo de colapso de una formación social.

Los índices de Boltzmann muestran resultados similares para toda la serie temporal salvo en el caso del Clásico Tardío (c. 650-900 d. C.). Precisamente, es en ese periodo donde exhiben mayor precisión que el índice  $iK$ , si bien  $iB_2$  permite observar mucha más virulencia (1171.88) en el impacto del colapso mesoamericano que la indicada por  $iB_1$  (30.67). Ocurre lo mismo en Monte Albán (Oaxaca, México) y entre los mayas de Uaxactún (Guatemala) y Barton Ramie (Belice).

La gráficas de la figura 2 ilustran claramente la tendencia de las curvas de los índices  $iC$ ,  $iK$  e  $iB$  ( $iB_1$ ), mostrando todas ellas su máximo en el Clásico Tardío, es decir, en el periodo en que se produce el colapso de las civilizaciones mesoamericanas clásicas.

Tabla 1. Parámetros sociales de la serie cronológica prehispánica proveniente de la cuenca del río Balsas, México.

Periodo	R	D	C	P	A	iR	iD	iC	iK	iB1	iB2
Preclásico Medio	3,34	77,38	23,17	6	0,26						
Preclásico Tardío	150,68	176,99	1,17	6	5,11	45,1138	2,2873	0,0507	0,00	1,05	1,00
Clásico Temprano	315,26	52,32	0,17	16	96,41	2,0922	0,2956	0,1413	0,07	1,15	1,07
<b>Clásico Tardío</b>	<b>152,73</b>	<b>86,78</b>	<b>0,57</b>	<b>16</b>	<b>28,16</b>	<b>0,4845</b>	<b>1,6586</b>	<b>3,4237</b>	<b>7,07</b>	<b>30,67</b>	<b>1171,88</b>
Posclásico Temprano	179,13	95,74	0,53	39	72,97	1,1729	1,1032	0,9407	0,80	2,56	2,23
Posclásico Tardío	260,32	77,56	0,30	9	30,21	1,4532	0,8101	0,5574	0,38	1,75	1,47

R: riqueza relativa; D: desigualdad social; C: conflictividad social; P: población representada; A: nivel de recursos disponibles; iR: índice de riqueza relativa; iD: índice de desigualdad social; iC: índice de conflictividad social; iK: índice de riesgo de colapso; iB1: índice de Boltzmann (iC); iB2: índice de Boltzmann (iK).

## CONCLUSIONES

1. Los índices de Boltzmann ( $iB_1$ ,  $iB_2$ ) aportan mayor precisión a la medición no ya del riesgo de colapso de una civilización antigua sino del impacto o efectos económicos y sociales del mismo. El primero de ellos se basa en la variación temporal de la conflictividad social (iC), mientras que el segundo depende del índice de riesgo de colapso (iK) publicado recientemente.

2. Esta nueva técnica analítica ha sido probada con éxito en la Mesoamérica prehispánica, concretamente a través del registro funerario de la cuenca del río Bal-

sas en México. Como se ha visto, permite observar con mucha más nitidez el verdadero alcance del colapso de las civilizaciones mesoamericanas clásicas. Ocurre lo mismo cuando se aplica a otras sociedades antiguas, cuyos resultados verán la luz más adelante.

3. Constituye un logro más de la *arqueología de los fenómenos sociales* (AFS) que ahora amplía enormemente su horizonte, estableciendo una conexión con la termodinámica al relacionar la conflictividad con la entropía. No es un avance cualquiera, pues contribuye a vincular esta ciencia social con las ciencias naturales. Esta nueva vía brinda más posibilidades a la AFS.

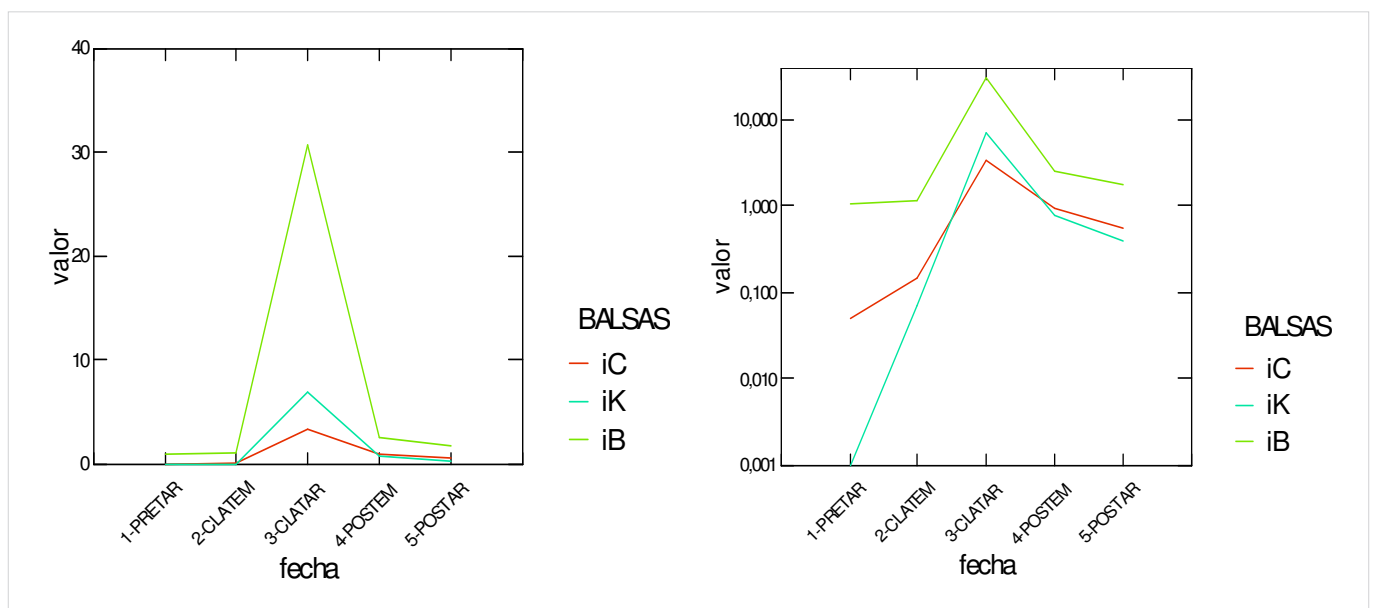


Figura 2. Representación gráfica comparativa de la evolución temporal del índice de conflictividad social (iC), el índice de riesgo de colapso (iK) y el índice de Boltzmann ( $iB = iB_1$ ) en la Mesoamérica prehispánica de la cuenca del río Balsas, México. En la gráfica de la derecha se emplea una escala logarítmica en base 10 en el eje de ordenadas para visualizar mejor la tendencia de los tres parámetros. PRETAR: Preclásico Tardío (c. 400 a. C.-150/200 d. C.); CLATEM: Clásico Temprano (c. 150/200-650 d. C.); CLATAR: Clásico Tardío (c. 650-900 d. C.); POSTEM: Posclásico Temprano (c. 900-1200 d. C.); POSTAR: Posclásico Tardío (c. 1200-1520 d. C.).

**BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- BOLTZMANN, L. 1995 [1964]. *Lectures on Gas Theory*. Trad. S. G. Brush. Nueva York: Dover Publications, Inc. [Berkeley: University of California Press.]
- IZQUIERDO-EGEA, P.
- 2014. Fluctuaciones económicas prehispánicas en la cuenca del río Balsas, México. *Arqueología Iberoamericana* 23: 3-30. <http://purl.org/aia/231>.
  - 2015a. Una técnica estadística para medir la conflictividad social a través del registro arqueológico. *Arqueología Iberoamericana* 25: 5-18. <http://purl.org/aia/251>.
  - 2015b. El colapso del Clásico Tardío entre los mayas de Uaxactún (Guatemala) y Barton Ramie (Belice) según el registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 27: 12-32. <http://purl.org/aia/272>.
  - 2016a. Calculando el nivel de recursos disponibles a partir del registro funerario mesoamericano. *Arqueología Iberoamericana* 29: 62-67. <http://purl.org/aia/2910>.
  - 2016b. Midiendo las fluctuaciones de la economía argárica a través del registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 30: 77-90. <http://purl.org/aia/309>.
  - 2016c. Monte Albán y el colapso clásico según el registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 32: 52-60. <http://purl.org/aia/327>.
  - 2017a. *Fundamentos de la arqueología de los fenómenos sociales I*. Advances in Archaeology 3. Graus. <http://purl.org/aa/03>.
  - 2017b. Corinto y las fluctuaciones de la economía griega durante el siglo V antes de nuestra era. *Arqueología Iberoamericana* 36: 87-96. <http://purl.org/aia/3612>.
  - 2018a. Leslie A. White y la medición objetiva del cambio cultural de la humanidad. *Arqueología Iberoamericana* S2: 15-18. <http://purl.org/aia/S203>.
  - 2018b. Implementando una ecuación estadística para medir el colapso clásico mesoamericano. *Arqueología Iberoamericana* S2: 23-26. <http://purl.org/aia/S205>.
  - 2018c. Una ecuación estadística para medir el riesgo de guerra en la Mesoamérica prehispánica. *Arqueología Iberoamericana* 39: 67-70. <http://purl.org/aia/3907>.
- JAYNES, E. T. 1965. Gibbs vs Boltzmann entropies. *American Journal of Physics* 33/5: 391-398.
- MALDONADO CÁRDENAS, R. 1980. *Ofrendas asociadas a entierros del Infiernillo en el Balsas. Estudio y experimentación con tres métodos de taxonomía numérica*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- REZAKHANLOU, F., C. VILLANI. 2008. *Entropy Methods for the Boltzmann Equation: Lectures from a Special Semester at the Centre Émile Borel, Institut H. Poincaré, Paris, 2001*. Lecture Notes in Mathematics 1916. Berlin, Heidelberg: Springer.
- VILLANI, C. 2008. Entropy production and convergence to equilibrium. En *Entropy Methods for the Boltzmann Equation*, F. Rezakhanlou y C. Villani, pp. 1-70.