

RESEARCH ARTICLE

SOBRE LA PARADOJA DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA EN LA ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES

On the Paradox of the Second Law of Thermodynamics in the Archaeology of Social Phenomena

Pascual Izquierdo-Egea

Laboratory of Theoretical Archaeology & Archaeonomy,
Research Chair in Archaeological Science, Zaragoza, Spain (✉ arqueologia@laiesken.net)

RESUMEN. Una nueva contribución de la «arqueología de los fenómenos sociales» demuestra que la segunda ley de la termodinámica no siempre se cumple entre las sociedades humanas porque la entropía, representada por la conflictividad social, no aumenta en todos los casos analizados cuando el proceso es irreversible; en cambio, sí lo hace la inestabilidad social.

PALABRAS CLAVE. Paradoja, segunda ley, termodinámica, arqueología, fenómenos sociales, entropía, conflictividad, proceso irreversible, inestabilidad.

ABSTRACT. A new contribution of the “archaeology of social phenomena” shows that the second law of thermodynamics is not always fulfilled among human societies because entropy, represented by social conflict, does not increase in all the cases analyzed when the process is irreversible; however, social instability does.

KEYWORDS. Paradox, second law, thermodynamics, archaeology, social phenomena, entropy, conflict, irreversible process, instability.

INTRODUCCIÓN

Este estudio, gracias a los logros de la arqueología como ciencia social nomotética, conocida como *arqueología de los fenómenos sociales* o *arqueonomía* (PIE 2017, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2019a, 2019b, 2019c, 2020a, 2020b, 2021b, 2022a, 2022b, 2023b; Flores e Izquierdo-Egea 2018), aporta evidencias que contradicen el cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica entre las sociedades humanas, tal como se infiere a partir de los fenómenos sociales «fossilizados».

Las pruebas materiales provienen del registro funerario de algunas sociedades antiguas y demuestran que esa ley no se cumple en todos los casos analizados porque la entropía (Klotz y Rosenberg 2008: 3), represen-

tada por la conflictividad social interna, no siempre aumenta cuando el proceso es irreversible; en cambio, sí lo hace la inestabilidad social, lo cual pone en entredicho el total cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en los procesos sociales del pasado.

LA PARADOJA SOCIAL DE LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La ecuación de la energía libre de Gibbs (ΔG), tal como se demostró anteriormente (*vide* PIE 2019c: 81; 2020a: 30), se puede adaptar a los procesos sociales del pasado ($\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \rightarrow E = \Delta D - R \cdot \Delta C$). A su vez, podemos despejar ΔC : $E + R \cdot \Delta C = \Delta D \rightarrow R \cdot \Delta C =$

Recibido: 25/5/2024. Aceptado: 1/6/2024. Publicado: 8/6/2024.

$\Delta D - E \rightarrow \Delta C = (\Delta D - E)/R$. Según esta última expresión, en los procesos sociales irreversibles, donde la energía libre es negativa ($E < 0$), aumentaría la entropía en forma de conflictividad interna (ΔC) al incrementar el numerador de esta última ecuación sumándose a la variación de la desigualdad social (ΔD), sobre todo en coyunturas económicas adversas donde disminuyese notoriamente la riqueza relativa media (R). Es decir, cuando $E < 0$ (proceso irreversible) $\rightarrow \Delta C > 0$ (entropía).¹

Sin embargo, esto debiera cumplirse *si los fenómenos sociales se comportasen igual que los naturales*, algo que no ocurre en todos los casos analizados en el presente estudio, lo cual pone en entredicho la segunda ley de la termodinámica aplicada a las sociedades humanas del pasado. Esta paradoja ya fue advertida anteriormente (*vide* PIE 2020a: 30), aunque entonces se enunció de forma incorrecta, lo cual se comprobó tras haberla contrastado con todas las evidencias materiales examinadas aquí.

Según la segunda ley de la termodinámica, la entropía (S) del universo, es decir, «... *the entropy of the system plus the entropy of the surroundings...*» (Grossman 2014: 55), siempre aumenta cuando un proceso es espontáneo, o sea, irreversible (Tolman y Fine 1948; Prigogine 1978; Serway y Jewett 2008; Sala y López 2011: 263, 264). «*The second law of thermodynamics states that... [the entropy of the system] remains constant (in reversible processes) or increases in value (in irreversible processes)*» (Planck 1969: 87-88).

De forma más precisa, «*the second law of thermodynamics states that the entropy of the universe (that is, system plus surroundings) always increases in an irreversible process and remains constant in a reversible process*» (Grossman 2014: 55):

$$\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}} \geq 0$$

De hecho, «*all changes in which entropy increases will occur spontaneously...*» (Boltzmann 1974: 22), «*general thermodynamics proceeds from the fact that... all natural processes are irreversible*» (Boltzmann 1995: 401), «*... all processes which actually take place in nature, if the second law be correct, are in reality irreversible...*» (Planck 1969: 88) y «*... the general thermodynamics of the second law is formulated in such a way that the unconditional irrever-*

sibility of all natural processes is asserted as a so-called axiom...» (Boltzmann 1995: 401). O sea, «*only irreversible processes contribute to entropy production*» (Prigogine 1978: 778) y «*if those processes are not irreversible, the entire edifice of the second law will crumble*» (Planck 1969: 86).

«Esto es lo que cabría esperar, pero, al contrastar empíricamente esta ley de la termodinámica, surge una paradoja», tal como se había anticipado en sociedades modernas como Alemania y España o en otras antiguas de la Mesoamérica prehispánica (PIE 2020a: 30). De hecho, en los casos analizados en el presente estudio, *no todos los procesos sociales irreversibles producen entropía (conflictividad social)*.

Lo que sí se cumple siempre es que *el aumento de la entropía genera inestabilidad social*, no al revés. Todo lo cual obliga a reformular la segunda ley de la termodinámica cuando se aplica a las sociedades humanas: *un proceso social es inestable porque ha aumentado la entropía (desorden) en forma de conflictividad; en otras palabras, el incremento de la entropía (conflictividad) genera inestabilidad social*.

EVIDENCIAS MATERIALES DE SOCIEDADES QUE CONTRADICEN LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Así lo atestiguan numerosas excepciones a la regla que incumplen la segunda ley de la termodinámica, *donde en procesos sociales irreversibles expresados por la energía libre negativa, en los cuales mengua la economía, disminuye la entropía en forma de conflictividad, no al contrario, y sigue habiendo estabilidad*.

Estas evidencias materiales proceden del registro funerario de la Medellín oriental (Badajoz, España), la *Conisturgis* prerromana según Almagro-Gorbea (2008, 2010) y posterior *Metellinum* romana, de c. 650-625 AC o c. 500-475 AC; Los Villares (Albacete, España) cuando estalla la crisis ibérica de la segunda mitad del siglo V antes de nuestra era (c. 450-425 AC); la Ampurias griega (Gerona, España) de c. 400-350 AC o la de comienzos de la época romano-republicana (c. 200-150 AC); el Teotihuacan (México) de c. 350-450 DC (PIE 2021b: 163, tabla 1) o la civilización maya representada por el Altar de Sacrificios (Guatemala) de c. 900-950 DC.

O, a la inversa, también contamos con evidencias materiales donde *en procesos sociales reversibles, expresados por la energía libre positiva, aumenta la entropía y no*

¹ Puede apreciarse una semejanza entre $\Delta C = (\Delta D - E)/R$ y la primera ecuación fundamental de la conflictividad: $C = D/R$ (*vide* PIE 2020a).

se mantiene constante tal como preconiza la segunda ley de la termodinámica: en el Bajo Ebro ibérico (Mas de Mussols y Mianes, Tarragona, España) de la segunda mitad del siglo VI AC o en la Ampurias griega (Gerona, España) de c. 350-300 AC (*vide* PIE 2022b sobre todos estos registros funerarios). Además, contamos con novedades recientes obtenidas a partir de investigaciones inéditas, gracias a las cuales se ha comprobado que ocurre lo mismo durante 650-625 AC en la necrópolis fenicia Laurita (Pellicer 2007) de Almuñécar (Granada, España), la antigua *Sexi* de la costa granadina, o en la Setefilla oriental (Aubert 1975, 1978, 1980-81; Brandherm y Krueger 2017) de 600-575 AC, situada en el Bajo Guadalquivir (Lora del Río, Sevilla, España).

Todo ello pone de manifiesto un comportamiento diferenciado de la entropía en los contextos sociales, lo cual obliga a matizar que *la conflictividad es entropía social* y, por tanto, *la termodinámica social no se comporta exactamente igual que la termodinámica natural*. De hecho, no es necesario enumerar todos los casos conocidos que incumplen la segunda ley de la termodinámica en el contexto de las sociedades humanas del pasado, basta con que uno solo deje de cumplirla para que quede invalidada.

Otro argumento fundamental, quizás más evidente que el anterior, es que la disminución de la entropía expresada por la conflictividad, *que se observa constantemente en todos los registros funerarios*, contradice radicalmente y, por tanto, *refuta el cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en todas las sociedades humanas*, pues, según su enunciado, la entropía solo puede aumentar o mantenerse constante y nunca disminuye.

En síntesis, hay sólidos argumentos, basados en sendas evidencias empíricas, que ponen en tela de juicio la segunda ley de la termodinámica de los fenómenos naturales, obligando a reformularla nuevamente en función del contexto social:

1) *En los procesos sociales irreversibles no siempre aumenta la entropía. Esto contradice la segunda ley de la termodinámica: $\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}} > 0$.*

2) *En los procesos sociales reversibles no suele mantenerse constante la entropía, lo cual contradice la segunda ley de la termodinámica cuando se aplica a los fenómenos sociales del pasado: $\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{alrededores}} = 0$.*

3) *Por tanto, la entropía social o conflictividad, a diferencia de la entropía natural, puede aumentar o disminuir y no se mantiene constante.*

4) *La entropía social siempre genera inestabilidad, no irreversibilidad.*

La entropía social puede disminuir (también puede hacerlo la entropía natural de un sistema durante un proceso, cf. v. g. Çengel y Boles 2012: 337), pero la segunda ley se refiere al sistema y su entorno o alrededores y la entropía del universo debe aumentar, por lo que la entropía del entorno de la sociedad debe crecer para que se cumpla la segunda ley de la termodinámica. Examinemos esa posibilidad buscando una posible explicación para salvar el enunciado de dicha regla. Si la actividad económica de la sociedad aumenta, el impacto negativo sobre el entorno natural (agricultura, ganadería, minería, tala de bosques, contaminación, etc.) será mayor, generando allí un incremento antrópico de entropía que compensaría el descenso de la entropía social, de modo que el balance total podría cumplir la ley; *pero esto no se puede demostrar a partir de las evidencias empíricas disponibles y no se cumple en los casos examinados en este estudio*.

En todo caso, los argumentos expuestos, comprobados empíricamente, plantean la excepcionalidad de una termodinámica social diferenciada de la natural hasta que no se demuestre lo contrario de forma fehaciente, con pruebas irrefutables que desmientan las evidencias aportadas aquí.

TERMODINÁMICA Y ESTABILIDAD SOCIAL

El universo tiende a ser cada vez más caótico (Çengel y Boles 2012: 348) porque la entropía sigue aumentando. Sin embargo, en esa lucha permanente entre caos y orden, la vida, con las sociedades humanas a la cabeza, representa el máximo exponente de la energía ordenada u organizada en forma de materia frente a la energía desordenada, desorganizada o caótica.

Si traducimos a nivel social esa lucha permanente entre un orden cohesionador y un caos disgregador, donde acaba venciendo este último, *hay que buscar la clave en la interacción permanente entre conflictividad (iC) y cohesión (iO), operando a modo de fuerza centrífuga y centrípeta respectivamente, que determina el grado de estabilidad ($Q > 0$) o inestabilidad ($Q < 0$) de una sociedad*, expresado por la ecuación $Q = iO - iC$ (PIE 2019c: 81), donde $iO = O/O_0$ e $iC = C/C_0$. Lo anterior es un reflejo de la interacción universal entre la energía ordenada (materia) y la desordenada, entre el orden y el caos, entre la vida y lo inerte. La termodinámica nos dice que la entropía universal siempre aumenta y las sociedades humanas, como máxima expresión organizativa de la vida (materia pensante) siguen reproduciendo y opo-

niendo resistencia a ese fatal e inevitable destino donde la entropía alcance su máximo e imponga la muerte térmica del universo.

Por otro lado, existe una relación directa entre irreversibilidad ($E < 0$) e inestabilidad ($Q < 0$). Lo prueba la siguiente ecuación, deducida a partir de $Q = iO - iC$ y $E = D(iO - 1/iD)$,² pues es evidente que ambos parámetros son directamente proporcionales:

$$E = D[(Q + iC) - (1/iD)] \quad (1)$$

Si despejamos Q , se aprecia mejor:

$$Q = (E/D) - iC + (1/iD) \quad (2)$$

Es decir, si $E < 0$, entonces $Q < 0$, o sea, *la irreversibilidad del proceso contribuye a generar inestabilidad social*, así como la reversibilidad hace lo contrario, es decir, contribuye a generar estabilidad. Asimismo, modificando lo que se afirmaba en otra publicación (PIE 2020a: 33), *cuando aumenta la entropía en forma de conflictividad interna, crece la inestabilidad social*. Esto es fundamental para entender el desarrollo de las sociedades humanas a lo largo del tiempo (*ibidem*).

De lo anterior se deduce que la estabilidad social es indirectamente proporcional a la conflictividad (entropía) y la inestabilidad social es directamente proporcional a la conflictividad interna ($-Q \propto C$).³ O sea, la inestabilidad y la entropía social (expresada por la conflictividad) son directamente proporcionales. Por tanto, *cuando la conflictividad interna (entropía) aumente, también lo hará la inestabilidad social*. En otras palabras, *la estabilidad de una sociedad aumenta cuando disminuye su entropía en forma de conflictividad y desciende cuando crece su entropía*.

De lo cual cabe deducir que la estabilidad de una sociedad es inversamente proporcional a su entropía en forma de conflictividad interna. Por contra, *la inestabilidad de una sociedad aumenta cuando se incrementa*

su entropía y disminuye cuando desciende su conflictividad. Luego la inestabilidad de una sociedad es directamente proporcional a su entropía en forma de conflictividad interna.

No obstante, *aun cuando en las sociedades humanas sea la entropía (desorden) de un proceso, en forma de conflictividad, la que genera directamente inestabilidad, la irreversibilidad, aunque pase a un segundo plano, sigue interviniendo indirectamente en la génesis de la inestabilidad* como viene demostrado por la ecuación (2).

REVERSIBILIDAD VS. IRREVERSIBILIDAD

A nivel meramente conceptual, un proceso donde un estado inestable inicial ($-Q_0$) se transforme en un estado estable final (Q) debe ser reversible ($-Q_0 + E \rightarrow Q$). Luego cabría deducir que la inestabilidad precisaría de una reversibilidad del proceso para alcanzar la estabilidad final del estado inestable inicial. Si el proceso fuese irreversible ($-E$), el estado inestable inicial ($-Q_0$) no podría transformarse en un estado estable final (Q); es decir, seguiría siendo inestable. En otras palabras, *la irreversibilidad no puede generar estabilidad; o bien la reversibilidad no puede generar inestabilidad*.

Ahora bien, la irreversibilidad sí es importante y decisiva en el colapso de las sociedades o civilizaciones, pues actúa como catalizador del proceso, tal como se vio en otros estudios recientes (*vide v. g.* PIE 2021a, 2023a para comprobarlo empíricamente con el registro funerario de las civilizaciones teotihuacana de la Mesoamérica prehispánica y la argárica de la península ibérica durante la Edad del Bronce, respectivamente). Es un requisito ineludible para que culmine el declive definitivo de la sociedad. En este caso, se cumple la segunda ley de la termodinámica. Es decir, no siempre ocurre esto mientras la sociedad «vive»; en cambio, sí tiene lugar cuando esta «muere» (o hay ruptura). Esa es otra paradoja.

En otras palabras, *para que una sociedad colapse, el proceso tiene que ser irreversible*. En cambio, mientras la sociedad no colapsa, o sea, se mantiene «viva» (o hay continuidad), la entropía, en forma de conflictividad, aumenta o disminuye al margen de que el proceso implicado sea irreversible o reversible, como ya se vio antes. En Teotihuacan (México), por ejemplo, apenas aumenta ligeramente la conflictividad interna cuando se produce el colapso; en cambio, sí lo hace significativamente el riesgo de guerra, o sea, la conflictividad externa (cf. PIE 2021a).

² Esta ecuación se deduce así: $E = \Delta D - R \cdot \Delta C \rightarrow E = (D - D_0) - (D/C)(C - C_0)$. Despejando, se obtiene: $E = D[(1/iC) - (1/iD)] \rightarrow E = D[iO - (1/iD)]$, porque $C = D/R \rightarrow R = D/C$ y $1/iC = iO$.

³ Ateniéndonos a la ecuación de la estabilidad social, $Q = iO - iC$, para que se genere inestabilidad ($-Q$), se cumplirá la premisa $Q < 0$, luego $iC > iO$, es decir, la variación temporal de la conflictividad (iC) será superior a la de la cohesión social (iO). En términos termodinámicos, iC representa el desorden o entropía e iO el orden o cohesión. Es una dialéctica permanente entre dos magnitudes macroscópicas opuestas que presentarán tres estados: 1) estable ($Q > 0$) cuando $iO > iC$, 2) inestable ($Q < 0$) cuando $iO < iC$, 3) equilibrio ($Q = 0$) cuando $iO = iC$ (estado ideal).

CONFLICTIVIDAD Y ESTABILIDAD

La conflictividad, interpretada como entropía en el ámbito social, puede ser considerada como la energía que se disipa o pierde y, por tanto, que no aprovecha la sociedad. Las sociedades complejas son inevitablemente conflictivas (*vide* PIE 2020a), tal como sostiene la *ley de la conflictividad* en la *arqueología de los fenómenos sociales*: «todas las sociedades complejas son conflictivas» (PIE 2019b: 68).

Ciertamente, una sociedad más estable aprovechará mejor su energía frente a otra más inestable, es decir, generará menos entropía, o sea, conflictividad, y su cohesión será mayor. Para profundizar en esta cuestión, se podría traer a colación o recurrir a una analogía con la teoría atómica de Niels Bohr (1913), según la cual los electrones que orbitan alrededor del núcleo necesitan absorber energía para subir a una órbita estacionaria de mayor energía o bien desprenderla si descienden a otra de inferior energía. Al aplicar esto a los estados estables o inestables de las sociedades humanas del pasado, observamos a través del registro material que, en un estado estable, la variación de la conflictividad (iC) es inferior a la de la cohesión (iO); mientras que en un estado inestable ocurre lo contrario: $iC > iO$.

También podríamos pensar en el símil de una interacción permanente entre una fuerza centrífuga (la conflictividad) y otra centrípeta (la cohesión) que nunca alcanzaría el equilibrio entre ambas. En ese proceso continuo, se produciría una alternancia en el predominio de una y otra, definiendo así el estado inestable o inestable de la sociedad en cada momento. En todo caso, *una sociedad que pase de un estado estable a otro inestable perderá cohesión* (energía cohesionadora) y *ganará conflictividad* (energía disgregadora), de tal modo que el balance arroje un saldo a favor de esta última. Por contra, *una sociedad que pase de un estado inestable a otro estable ganará cohesión y perderá conflictividad*, de forma que el balance arroje un saldo a favor de la primera.

El mecanismo de la estabilidad

La clave del proceso radica en la conflictividad (C). Cuando aumenta genera inestabilidad, cuando disminuye produce estabilidad; y el mecanismo que subyace es $iR - iD$, donde el estado de la economía (R) y la desigualdad social (D) en un momento determinado se expresa mediante índices que indican la variación temporal de ambos parámetros respecto del momento anterior ($iR = R/R_0$, $iD = D/D_0$).

Así pues, cuando una sociedad pase de un estado inestable a otro estable, reducirá su conflictividad o entropía social (perdiendo menos energía), de forma que $iR - iD > 0$, lo cual implica que $iR > iD$. Por contra, cuando una sociedad pase de un estado estable a otro inestable, aumentará su conflictividad o entropía social (perdiendo más energía): $iR < iD \rightarrow iR - iD < 0$.

En síntesis, el incremento de la conflictividad siempre genera inestabilidad social; luego el descenso de la conflictividad siempre genera estabilidad social. Lo cual no implica en absoluto que la conflictividad desaparezca; será mayor en el primer caso o menor en el segundo, pero nunca desaparecerá en las sociedades complejas, porque las sociedades complejas son conflictivas según la ley de la conflictividad social (*vide supra*).

Se ha observado el comportamiento de ambos parámetros, es decir, cómo interactúan tanto en la civilización ibérica arcaica del Bajo Ebro (*c.* 600-400 AC) y Los Villares (*c.* 550-400 AC) como en la Ampurias griega y romana de época republicana (*c.* 550-100 AC), la Marsella romana de los siglos I-II DC, la cuenca del río Balsas en el México prehispánico o bien, sin salir de este último marco espacio-temporal, en Teotihuacan (*ss.* II-VII AD); apreciando que en cada proceso (periodo temporal en este caso) siempre prevalece uno de los dos. Es decir, si aumenta la conflictividad (iC) disminuye la cohesión (iO) y viceversa, si crece la cohesión (iO) se reduce la conflictividad (iC).

Por otro lado, al emplear $O - C$, se observa el contraste entre sociedades muy estables como la del Bajo Ebro y otras más inestables como Teotihuacan, Los Villares o la Ampurias griega y romana de los siglos VI-II AC, o alguna muy inestable como la Marsella romana de los siglos I-II DC; aunque es un cementerio de la Córdoba romana de los siglos I-II DC el que muestra la máxima inestabilidad registrada hasta ahora (*vide* PIE 2022b para consultar las fuentes de estos datos empíricos).

Conflictividad y desigualdad

La primera ecuación fundamental de la conflictividad ($C = D/R$) nos recuerda que *si el crecimiento de la economía (R) es inferior al incremento de la desigualdad (D), habrá inestabilidad en la sociedad*, porque la conflictividad o entropía aumentará y será mayor que la cohesión social ($iC > iO$); por consiguiente, la estabilidad ($Q = iO - iC$) será negativa ($Q < 0$).

Esto nos remite a los estados ideales o posibles de la fluctuación (variación temporal expresada por índices)

de los dos parámetros fundamentales (D, R) que definen la conflictividad social (C) a partir del registro funerario. Estados ideales: 1) $iD > iR$ (conflictivo), 2) $iD = iR$ (equilibrio), 3) $iD < iR$ (cohesión). Estados posibles o reales: 1) $iD \gg iR$ (máxima conflictividad, mínima cohesión), 2) $iD > iR$ (conflictivo), 3) $iD = iR$ (equilibrio), 4) $iD < iR$ (cohesión), 5) $iD \ll iR$ (mínima conflictividad, máxima cohesión). O bien, a la inversa para el caso de la cohesión (O), estados posibles o reales: 1) $iR \gg iD$ (máxima cohesión, mínima conflictividad), 2) $iR > iD$ (cohesión), 3) $iR = iD$ (equilibrio), 4) $iR < iD$ (conflictivo), 5) $iR \ll iD$ (mínima cohesión, máxima conflictividad).

CONCLUSIONES

1. En las sociedades humanas no se cumple la segunda ley de la termodinámica en todos los casos. Es decir, cuando un proceso es irreversible, debería aumentar la entropía y no siempre es así, tanto cuando se observan las sociedades del pasado a través de su registro funerario como las actuales mediante los datos estadísticos; aunque se visualiza con mayor claridad en las primeras debido a la precisión de los parámetros empleados en las mediciones de los fenómenos sociales codificados en sus ajueres. Esta paradoja pone en entredicho la validez de la segunda ley de la termodinámica cuando se intenta aplicar a las sociedades humanas.

2. En cambio, cuando un proceso desemboca en un estado inestable de la sociedad, sí ha aumentado la entropía (desorden) en forma de conflictividad. En el contexto social, la inestabilidad sustituye a la irreversibilidad en la conceptualización de dicha ley. Esta novedad es fundamental para entender la termodinámica del comportamiento social y obliga reformular la segunda ley en otros términos acordes con las evidencias empíricas de los registros materiales de las sociedades del pasado y del presente, tal como se expresó más arriba: *cuando un proceso social incrementa la conflictividad interna (entropía social, desorden), provoca el aumento de la inestabilidad en el seno de la sociedad*. Es el aumento de la entropía social el que incrementa la inestabilidad social. En otras palabras, la conflictividad creciente siempre genera inestabilidad. Hay una proporción directa entre ambas variables: *si disminuye la conflictividad (entropía), desciende la inestabilidad*, o sea, aumenta la estabilidad. Dicho de otra forma, *existe una relación directa entre conflictividad e inestabilidad e indirecta entre conflictividad y estabilidad*. Es decir, todo aumento

de C ($\Delta C > 0$) genera inestabilidad ($-Q$, $Q < 0$) al igual que todo descenso de C ($\Delta C < 0$) produce estabilidad ($Q > 0$). Por tanto, la conflictividad (C) es directamente proporcional a la inestabilidad o estabilidad negativa ($-Q$) e inversamente proporcional a la estabilidad ($Q = iO - iC$): cuando aumenta C ($iC > iO$) también lo hace $-Q$ ($Q < 0$) y cuando disminuye C ($iC < iO$) aumenta Q ($Q > 0$).

3. La desigualdad social genera conflictividad. Lo hace con mayor intensidad cuando la economía va mal, es decir, cuando hay crisis económica. En un proceso paralelo y simultáneo, la prosperidad económica genera cohesión social mientras la desigualdad social disminuya o no crezca de forma desmesurada. Es el saldo del balance de ambos parámetros (conflictividad y cohesión social) el que determina la estabilidad (si es positivo, $iR - iD > 0$) o inestabilidad social (si es negativo, $iR - iD < 0$).

4. Como corolario de la anterior conclusión, se puede plantear el siguiente silogismo: 1) el incremento de la desigualdad ($\Delta D > 0$) genera conflictividad ($\Delta C > 0$), 2) el incremento de la conflictividad ($\Delta C > 0$) genera inestabilidad ($Q > 0$), 3) luego el incremento de la desigualdad ($\Delta D > 0$) acaba generando (o genera indirectamente) inestabilidad ($Q > 0$): $D \rightarrow C \rightarrow -Q$.

5. De lo anterior cabe deducir una nueva ley de la arqueología de los fenómenos sociales o arqueonomía. Es la ley de la estabilidad social: *una sociedad será estable cuando descienda su conflictividad y será inestable cuando aumente su conflictividad; porque el incremento de la conflictividad (entropía) genera inestabilidad social al igual que su descenso produce estabilidad*.

6. Examinando nuevamente $E = \Delta D - R \cdot \Delta C$, si despejamos ΔC , tenemos $\Delta C = (\Delta D - E)/R$. Es decir, un incremento de desigualdad social producirá un incremento de conflictividad, coincidiendo con $C = D/R$. En otras palabras, cuando aumente la desigualdad también lo hará la conflictividad, si bien dicho incremento puede ser atenuado por la prosperidad coyuntural de la economía y la reversibilidad del proceso (energía libre positiva).

7. Todo esto deja entrever que la termodinámica de los fenómenos sociales no funciona exactamente igual que la de los fenómenos naturales. Estamos ante un contexto de máxima complejidad donde la energía expresa su mayor nivel de organización como materia viva pensante. O sea, todos los procesos sociales deberían ser irreversibles y eso no es así porque hay procesos reversibles y otros irreversibles aplicando la ecuación de la energía libre de Gibbs a las sociedades humanas, espe-

cialmente cuando se observa analíticamente su registro funerario del pasado. *Y no parece que la analogía postulada que fundamenta la relación entre la conflictividad social y la entropía termodinámica deba ser puesta en entredicho por ello.*

Conclusión final

Las evidencias empíricas de esta investigación han permitido poner de relieve la necesidad de adaptar la termodinámica natural al contexto social para salvar las contradicciones que afloran cuando se aplica directamente. La prueba más evidente (1) proviene de la misma *entropía social*, es decir, la *conflictividad*, la cual puede aumentar o disminuir a diferencia de la *entropía natural* (que solo puede aumentar o mantenerse constante, pero nunca disminuye). Es decir, *en los procesos irreversibles no siempre aumenta la entropía social*, a diferencia de la natural, sino que también disminuye. Otro argu-

mento contundente (2) proviene del incumplimiento de la segunda ley de la termodinámica en determinados casos ya expuestos, que serán muchos más a medida que avancen los análisis de los registros funerarios en el futuro. Finalmente (3), *el incremento de la entropía social siempre genera inestabilidad, no irreversibilidad*. Estas tres evidencias empíricas, amén de otras que puedan ser aisladas más adelante, constituyen los pilares sobre los que se asienta esta revisión crítica y bastan para poner en entredicho la aplicación directa de la termodinámica natural a las sociedades humanas sin someterla a una adaptación en función de su comportamiento diferenciado en el complejo contexto social, donde las leyes naturales experimentan transformaciones adaptativas que obligan a modificarlas. Este nuevo enfoque, aunque resulte innovador y claramente revolucionario, solo es fruto de la inferencia a partir de las evidencias empíricas analizadas que cualquiera puede comprobar. Así funciona la verdadera ciencia.

REFERENCIAS

- ALMAGRO-GORBEA, M. 2008. Medellín-Conisturgis: reinterpretación geográfica del suroeste de Iberia. *Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa* 126: 84-115.
- ALMAGRO-GORBEA, M. 2010. La colonización tartésica: toponimia y arqueología. *Paleohispanica* 10: 187-199.
- AUBET, M.E. 1975. *La necrópolis de Setefilla en Lora del Río, Sevilla (túmulo A)*. Barcelona. Programa de Investigaciones Protohistóricas 2.
- AUBET, M. E. 1978. *La necrópolis de Setefilla en Lora del Río, Sevilla (túmulo B)*. Barcelona. Programa de Investigaciones Protohistóricas 3.
- AUBET, M. E. 1980-81. Nuevos hallazgos en la necrópolis de Setefilla (Sevilla). *Mainake* 2-3: 87-115.
- BOLTZMANN, L. 1974 [1886]. The Second Law of Thermodynamics. En *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, pp. 13-32. Dordrecht: D. Reidel.
- BOLTZMANN, L. 1995 [1964]. *Lectures on Gas Theory*. Trad. S. G. Brush. Nueva York: Dover Publications, Inc. [Berkeley: University of California Press].
- BOHR, N. 1913. On the Constitution of Atoms and Molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, 151: 1-25.
- BRANDHERM, D.; M. KRUEGER. 2017. Primeras determinaciones radiocarbónicas de la necrópolis de Setefilla (Lora del Río) y el inicio del periodo orientalizante en Andalucía occidental. *Trabajos de Prehistoria* 74, 2: 296-318.
- ÇENGEL, Y. A.; M. A. BOLES. 2012. *Termodinámica*. México: McGraw-Hill. 7.^a ed.
- FLORES, J. C.; P. IZQUIERDO-EGEA. 2018. Una comparación entre transiciones de fase y conflictos sociales aplicada a las antiguas civilizaciones mesoamericanas. *Arqueología Iberoamericana* 38: 50-54.
- GROSSMAN, J. C. 2014. *Thermodynamics: Four Laws that Move the Universe*. Chantilly, Virginia: The Great Courses, The Teaching Company.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2017. *Fundamentos de la arqueología de los fenómenos sociales I*. Advances in Archaeology 3. Graus. <<https://purl.org/aa/03>>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018a. Leslie A. White y la medición objetiva del cambio cultural de la humanidad. *Arqueología Iberoamericana* S2: 15-18.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018b. Implementando una ecuación estadística para medir el colapso en la antigua Mesoamérica. *Arqueología Iberoamericana* S2: 23-26.

- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018c. Una ecuación estadística para medir el riesgo de guerra en la Mesoamérica prehispánica. *Arqueología Iberoamericana* 39: 67-70.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2018d. Boltzmann y la conexión de la termodinámica con la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 40: 101-104.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019a. Midiendo el grado de desarrollo urbano a través del registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 42: 50-53.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019b. Sobre la ley fundamental de la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 43: 67-70.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2019c. Termodinámica y arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 44: 80-87.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2020a. Sobre la ley de la conflictividad en la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 45: 29-34.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2020b. Nomothetic Archaeology: A Revolution in Progress. *Arqueología Iberoamericana* 45: 101-104.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2021a. Teotihuacan y las fluctuaciones de la economía mesoamericana. *Arqueología Iberoamericana* 47: 161-174.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2021b. Sobre la ley del colapso de las civilizaciones según la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 48: 103-108.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2022a. La ley de la desigualdad social según la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 49: 117-120.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2022b. Sobre la mecánica del proceso de colapso de las civilizaciones. *Arqueología Iberoamericana* 50: 98-103.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2023a. Observing the Evolution of Argaric Civilization through the Mortuary Record. *Arqueología Iberoamericana* 51: 3-8.
- IZQUIERDO-EGEA, P. [PIE]. 2023b. Arqueología de la irreversibilidad social y las crisis económicas. *Arqueología Iberoamericana* 51: 29-35.
- KLOTZ, I. M.; R. M. ROSENBERG. 2008. *Chemical Thermodynamics. Basic Concepts and Methods*. Hoboken: Wiley.
- PELLICER, M. 2007. *La necrópolis Laurita (Almuñécar, Granada) en el contexto de la colonización fenicia*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 1. Barcelona: Publicaciones del Laboratorio de Arqueología, UPF.
- PLANCK, M. 1969 [1917]. *Treatise on Thermodynamics*. Mineola, Nueva York: Dover Publications.
- PRIGOGINE, I. 1978. Time, Structure, and Fluctuations. *Science* 201, 4358: 777-785.
- SALA, J. M.; L. M. LÓPEZ. 2011. *Termodinámica fundamental*. Universidad de La Rioja.
- SERWAY, R. A.; J. W. JEWETT, JR. 2008. *Física para ciencias e ingeniería*. Vol. 1. Trad. V. Campos Olguín. México, D. F.: Cengage Learning Editores. 7.^a ed.
- TOLMAN, R. C.; P. C. FINE. 1948. On the Irreversible Production of Entropy. *Reviews of Modern Physics* 20, 1: 51-77.