

RESEARCH ADVANCE

## TERMODINÁMICA Y ARQUEOLOGÍA DE LOS FENÓMENOS SOCIALES

### *Thermodynamics and the Archaeology of Social Phenomena*

*Pascual Izquierdo-Egea*

Laboratory of Theoretical Archaeology, Pina de Ebro (Aragon, Spain)  
([arqueologia@laiesken.net](mailto:arqueologia@laiesken.net))

**RESUMEN.** *Hay una estrecha relación entre la termodinámica y la arqueología de los fenómenos sociales o arqueonomía a través de la energía libre de Gibbs y otros parámetros vinculados. Esta nueva aproximación cuantitativa revela su enorme utilidad al aplicarla al análisis de la Gran Recesión en los Estados Unidos de América. También arroja resultados significativos en el caso de las civilizaciones antiguas mediante su registro funerario, aunque obviamente las sociedades actuales ofrecen información más precisa a la hora de probar la capacidad predictiva de estas nuevas técnicas científicas.*

**PALABRAS CLAVE.** *Termodinámica; arqueología teórica; fenómenos sociales; registro funerario; Gran Recesión.*

**ABSTRACT.** *There is a close relationship between thermodynamics and the archaeology of social phenomena (or archaeonomy) through Gibbs free energy and linked parameters. This new quantitative approach reveals its enormous utility when applied to the analysis of the Great Recession in the United States of America. It also yields significant results in the case of ancient civilizations through their mortuary record, although obviously current societies offer more accurate information when testing the predictive capacity of these new scientific techniques.*

**KEYWORDS.** *Thermodynamics; theoretical archaeology; social phenomena; mortuary record; Great Recession.*

## INTRODUCCIÓN

La ley fundamental de la *arqueología de los fenómenos sociales* o *arqueonomía* (Izquierdo-Egea 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2019a, 2019b; Flores e Izquierdo 2018) establece que «en ausencia de manipulación ideológica premeditada, los fenómenos sociales quedan registrados en los restos materiales de una sociedad» (Izquierdo-Egea 2019b: 68).

Partiendo de tan sólido fundamento, a propósito de la ecuación de Boltzmann sobre la entropía, se vislumbraba la conexión de la termodinámica con la *arqueología de los fenómenos sociales* (AFS) o *arqueonomía*

(Izquierdo-Egea 2018d) y el enorme abanico de posibilidades que este nuevo horizonte ofrecía para el desarrollo de esa nueva disciplina científica.

Con la presente contribución se aportan nuevos avances que no solo refuerzan dicho vínculo entre ambas ciencias, sino que permiten a la AFS dar pasos agigantados hacia su completa conversión en una disciplina científica nomotética y predictiva de naturaleza social.

Partiendo de la noción de energía libre de Gibbs en termodinámica (Planck 1969; Callen 1981; Levine 2004; Klotz y Rosenberg 2008; Borgnakke y Sonntag 2013; DeVoe 2015), se deduce un nuevo parámetro (E) capaz de medir la reversibilidad o irreversibilidad de un proceso social. Además, se ha desarrollado otro (Q) que

*Recibido: 17-12-2019. Aceptado: 23-12-2019. Publicado: 31-12-2019.*

determina la estabilidad o inestabilidad de la sociedad durante dicho proceso, introduciendo el concepto de cohesión asociado al orden como la inversa de la conflictividad representativa del caos. Si relacionamos ambas variables determinando la diferencia entre ambas, se obtiene Q. Esos dos nuevos parámetros son fundamentales para comprender los mecanismos internos que regulan la evolución de los procesos sociales.

Estas nuevas técnicas no solo son aplicables a sociedades remotas en el tiempo sino también a las actuales, lo cual convierte a la AFS (o *arqueonomía*) en una ciencia social del pasado y del presente que, además, sirve de puente entre las ciencias sociales y las naturales (termodinámica).<sup>1</sup>

### MIDIENDO LA REVERSIBILIDAD DE LOS PROCESOS SOCIALES A TRAVÉS DEL REGISTRO FUNERARIO

La energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) de los procesos termodinámicos se puede aplicar a los procesos sociales:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1)$$

El incremento de la desigualdad social ( $\Delta D$ ) es equiparable al de la entalpía ( $\Delta H$ ), así como la riqueza relativa (R) lo es a la temperatura (T) y el incremento de la conflictividad social ( $\Delta C$ ) al de la entropía ( $\Delta S$ ). De ese modo, obtenemos:

$$E = \Delta D - R \cdot \Delta C \quad (2)$$

Donde si bien el valor de esta energía libre (E) ya expresa la reversibilidad o irreversibilidad (cuando el valor obtenido es negativo) de los procesos sociales, detectables cuando se observa cuantitativamente la variabilidad de los ajuares funerarios, se emplea su incremento ( $\Delta E$ ) como indicador más preciso de la tendencia seguida por dicho parámetro para poder predecir el estallido de una crisis económica, tal como veremos en el caso que ilustra su aplicación empírica.

$$\Delta E = E - E_0 \quad (3)$$

Siendo  $E_0$  el valor de la variable en el momento anterior al considerado (E).

<sup>1</sup> Es una ciencia social capaz de predecir de forma inversa (pasado) o directa (presente).

### MIDIENDO LA ESTABILIDAD DE LOS PROCESOS SOCIALES A TRAVÉS DEL REGISTRO FUNERARIO

Es necesario introducir un nuevo parámetro ( $iO$ ) para medir el grado de cohesión social (O). Este índice se obtiene de la siguiente manera. Por definición, O es la inversa de la conflictividad social (C):  $O = 1/C$  (así como la rareza es la inversa de la frecuencia). Luego, si  $C = D/R$ , entonces  $O = R/D$ . En otras palabras, la cohesión social (O) será directamente proporcional a la riqueza relativa (R) e inversamente proporcional a la desigualdad social (D). Ya sabíamos que  $iC = iD/iR$  e  $iC = C/C_0$ , luego  $iO = iR/iD$  e  $iO = O/O_0$ .

Podemos relacionar ambos índices ( $iO$ ,  $iC$ ) creando un nuevo parámetro (Q) que mida la estabilidad o inestabilidad (cuando la variable toma valores negativos) de los procesos sociales como resultado de la sustracción entre la variación temporal de la cohesión y la de la conflictividad social:

$$Q = iO - iC \quad (4)$$

Finalmente, tomamos su incremento ( $\Delta Q$ ) para observar la tendencia de este parámetro social (Q) en función del tiempo con fines predictivos:

$$\Delta Q = Q - Q_0 \quad (5)$$

### PREDICIENDO LA EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS SOCIALES

Aunque E, Q,  $\Delta E$  y  $\Delta Q$  son suficientes para observar la trayectoria temporal de la economía de una determinada sociedad y predecir el posible inicio de una contracción económica (recesión, crisis), todavía podemos ir más allá. De hecho, si combinamos dos de esos nuevos parámetros ( $\Delta E$ ,  $\Delta Q$ ) sumando sus magnitudes, obtenemos un indicador (F) que permite ayudar a predecir la evolución de los procesos sociales:

$$F = \Delta E + \Delta Q \quad (6)$$

Esta técnica suele mostrar su mayor efectividad si se aplica a series temporales con datos macroeconómicos de países actuales. Por otro lado, se ha comprobado empíricamente en algunos de estos estados la relación directa entre F y la variación temporal del índice de riqueza relativa ( $\Delta iR$ ), con la ventaja de que este último

Tabla 1. Parámetros sociales de la serie temporal correspondiente a los Estados Unidos de América (2003-2018).

Año	R	D	C	P	A	iR	iD	iC	iP	iA	W	K	G	U	Z	E	ΔE	O	iO	Q	ΔQ	
2003	39,77	46,40	1,17	290,11	248,66													0,86				
2004	43,51	46,60	1,07	292,81	273,39	1,0940	1,0043	0,9180	1,0093	1,0995	1,20	0,84	0,83	1,21	0,44	4,36		0,93	1,09	0,17		
2005	46,19	46,90	1,02	295,52	291,05	1,0616	1,0064	0,9480	1,0093	1,0646	1,13	0,89	0,89	1,13	0,28	2,87	-1,49	0,98	1,05	0,11	-0,06	
2006	47,88	47,00	0,98	298,38	303,97	1,0366	1,0021	0,9668	1,0097	1,0444	1,08	0,93	0,93	1,09	0,19	1,72	-1,15	1,02	1,03	0,07	-0,04	
2007	48,50	46,30	0,95	301,23	315,54	1,0129	0,9851	0,9725	1,0096	1,0381	1,05	0,96	0,94	1,08	0,14	0,61	-1,11	1,05	1,03	0,06	-0,01	
2008	48,98	46,60	0,95	304,09	319,62	1,0099	1,0065	0,9966	1,0095	1,0129	1,02	0,99	0,98	1,03	0,05	0,46	-0,15	1,05	1,00	0,01	-0,05	
2009	47,73	46,80	0,98	306,77	312,87	0,9745	1,0043	1,0306	1,0088	0,9789	0,95	1,06	1,05	0,96	-0,12	-1,19	-1,65	1,02	0,97	-0,06	-0,07	
2010	48,99	47,00	0,96	309,33	322,43	1,0264	1,0043	0,9784	1,0083	1,0306	1,06	0,95	0,95	1,06	0,13	1,24	2,42	1,04	1,02	0,04	0,10	
2011	50,57	47,70	0,94	311,58	330,33	1,0323	1,0149	0,9832	1,0073	1,0245	1,06	0,95	0,96	1,05	0,11	1,52	0,28	1,06	1,02	0,03	-0,01	
2012	52,76	47,70	0,90	313,87	347,17	1,0433	1,0000	0,9585	1,0073	1,0510	1,10	0,92	0,91	1,10	0,22	2,07	0,55	1,11	1,04	0,08	0,05	
2013	53,94	47,60	0,88	316,06	358,16	1,0224	0,9979	0,9761	1,0070	1,0317	1,05	0,95	0,95	1,06	0,13	1,07	-1,00	1,13	1,02	0,05	-0,04	
2014	55,85	48,00	0,86	318,39	370,46	1,0354	1,0084	0,9739	1,0074	1,0344	1,07	0,94	0,94	1,07	0,15	1,69	0,62	1,16	1,03	0,05	0,00	
2015	56,70	47,90	0,84	320,74	379,67	1,0152	0,9979	0,9830	1,0074	1,0248	1,04	0,97	0,96	1,05	0,10	0,73	-0,95	1,18	1,02	0,03	-0,02	
2016	57,17	48,10	0,84	323,07	383,99	1,0083	1,0042	0,9959	1,0073	1,0114	1,02	0,99	0,98	1,02	0,04	0,40	-0,33	1,19	1,00	0,01	-0,03	
2017	59,16	48,20	0,81	325,15	399,08	1,0348	1,0021	0,9684	1,0064	1,0393	1,08	0,94	0,93	1,08	0,17	1,67	1,28	1,23	1,03	0,06	0,06	
2018	62,85	48,60	0,77	327,17	423,10	1,0624	1,0083	0,9491	1,0062	1,0602	1,13	0,89	0,90	1,12	0,27	3,01	1,33	1,29	1,05	0,10	0,04	

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; iP: índice de la población representada; iA: índice del nivel de recursos disponibles; W: índice de White; K: índice de riesgo de colapso; G: índice de riesgo de guerra; U: índice de desarrollo urbano; Z: índice de estado de una sociedad; E: energía libre (reversibilidad del proceso social); ΔE: incremento de la energía libre; O: cohesión social; iO: índice de cohesión social; Q: estabilidad del proceso social; ΔQ: incremento de la estabilidad del proceso social.

indicador de la evolución de los procesos sociales es más simple:

$$\Delta iR = iR - iR_0 \quad (7)$$

## APLICACIONES EMPÍRICAS

### Las civilizaciones antiguas de Iberia y Mesoamérica

La contrastación empírica de estas técnicas a través de un enfoque intercultural está demostrando su fructífera aplicación a contextos tan dispares como la protohistoria ibérica, la Mesoamérica prehispánica o el mundo actual. Quizás su dimensión más impactante sea la posibilidad que ofrecen de predecir tanto procesos sociales remotos como contemporáneos, lo cual constituye un nuevo gran logro de la *arqueología de los fenómenos sociales* (AFS) o *arqueonomía*.

El incremento de la variación temporal de la riqueza relativa ( $\Delta iR$ ) como técnica predictiva ha sido confir-

mado empíricamente en dos contextos arqueológicos muy distantes espacial y temporalmente: el Bajo Ebro, en la península ibérica, durante la primera mitad del siglo V antes de nuestra era, a propósito de anunciar materialmente la gran crisis ibérica de la segunda parte de dicha centuria; y la cuenca del Balsas, en México, donde el registro funerario del Clásico Temprano hace lo propio respecto al colapso de las civilizaciones clásicas en la Mesoamérica prehispánica que acontece en el periodo posterior (Clásico Tardío). Por tanto, esta técnica es capaz de predecir la crisis del periodo ulterior y sostiene la *predictibilidad* de la AFS que, junto con su capacidad *nomotética* de formular *leyes* basadas en las evidencias empíricas, conforma la indiscutible *cientificidad* de esta nueva disciplina apoyada en ambos sólidos pilares.

En el caso de la necrópolis orientalizante de Medellín (España), cuyos resultados analíticos permanecen inéditos, es la medición de la energía libre —que permite observar la reversibilidad o irreversibilidad del proceso social— la que arroja luz: el valor de  $-3.09$  indica que en 650-625 (el tercer cuarto del siglo VII antes de

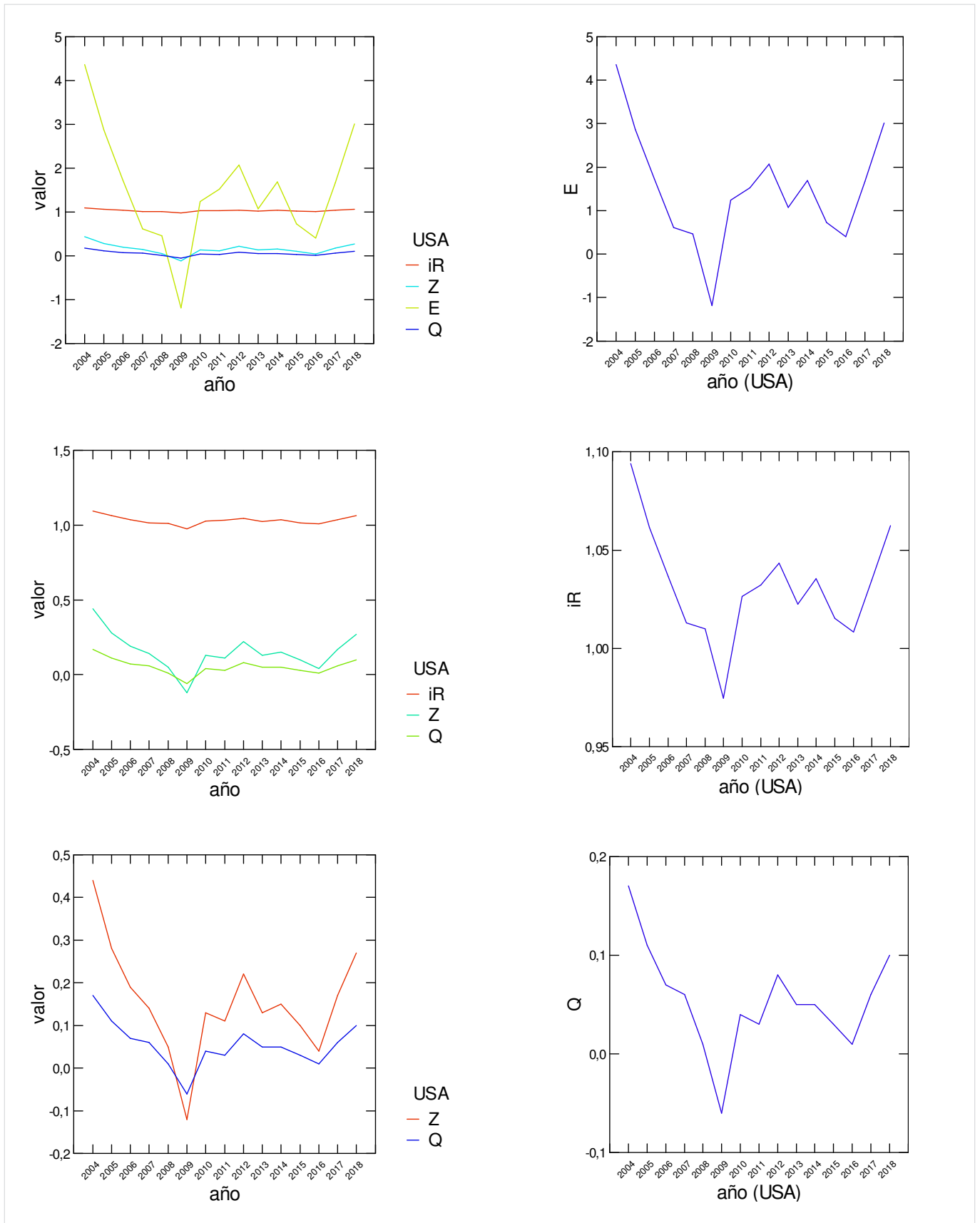


Figura 1. Representación gráfica de los siguientes parámetros sociales (iR, Z, E, Q) de la serie temporal correspondiente a los Estados Unidos de América (2003-2018): índice de riqueza relativa (iR), índice de estado de una sociedad (Z), energía libre que expresa la reversibilidad o irreversibilidad de los procesos sociales (E) y estabilidad o inestabilidad de la sociedad estudiada en un momento dado (Q). Obsérvese cómo todos estos indicadores expresan claramente la Gran Recesión registrada en el año 2009 según el parámetro R (riqueza relativa) y que acabó extendiéndose por todo el mundo.

nuestra era) ya aparecen síntomas de la crisis económica registrada en el siguiente periodo, es decir, el último cuarto de dicha centuria (625-600 a. C), si bien es el único síntoma hasta ahora detectado mediante esta técnica predictiva. En otras palabras, «predice» esa crisis. Ese dato negativo ( $E < 0$ ) muestra que el proceso es irreversible y la política económica (gestión de la economía) ha fracasado a la hora de contener los efectos adversos de una recesión económica.

En la cuenca del río Balsas también se aprecia, según el  $\Delta E$  y el  $\Delta Q$ , un aumento tanto de la irreversibilidad como de la inestabilidad en el Clásico Temprano que conducirán a la posterior crisis económica y social del Clásico Tardío.

## La Gran Recesión en los Estados Unidos de América

Dejando atrás el registro funerario como fuente de información, podemos usar los datos macroeconómicos de las sociedades contemporáneas para aplicar estas técnicas analíticas. En la tabla 1 apreciamos que la crisis económica desatada por la Gran Recesión estalla *stricto sensu* en 2009 en los Estados Unidos de América, antes de contagiarse al resto del mundo, según los datos del Banco Mundial (2019a) (INB o ingreso nacional bruto per cápita, que se corresponde con nuestra riqueza relativa  $R$  de la primera columna, expresada en millares de dólares). A simple vista, se observa cómo la economía se va desacelerando desde 2004 hasta tocar fondo en 2009 (columna del índice de variación temporal,  $iR$ ).

En ese momento crítico saltan las alarmas de todos los indicadores. La actividad económica disminuye ( $R$ ,  $iR$ ), la desigualdad social sigue creciendo ( $D$ ) y la conflictividad también se incrementa ligeramente, alcanzando el máximo de la serie. Para medir la desigualdad, se emplea el coeficiente de Gini, o sea el índice expresado en porcentaje publicado por el Censo de los Estados Unidos de América (Semega *et al.* 2019: 35-36).<sup>2</sup> En cambio, el efecto de la crisis no repercute, ni en 2009 ni posteriormente, sobre la evolución de la demografía, pues la población anotada en millones (Banco Mundial 2019b) sigue creciendo sin interrupciones —tan solo se aprecia una ligerísima desaceleración a partir de 2007 según su índice de variación temporal ( $iP$ ), obte-

<sup>2</sup> Para los países europeos, la desigualdad social se toma del coeficiente de Gini publicado en línea por Eurostat (Comisión Europea).

nido al dividir la población del año considerado ( $P$ ) por la del año anterior ( $P_0$ ).

Otros parámetros muestran la gravedad del momento. Así, el índice de White ( $W$ ) exhibe el retroceso a nivel de cambio cultural más bajo de toda la serie temporal. Por su parte, el índice de riesgo de colapso ( $K$ ) también alcanza su valor más alto, que empieza a ser preocupante cuando  $K > 1$  (1.06). Ocurre lo mismo con el riesgo de guerra ( $G$ ), aun cuando apenas sobrepase la unidad (1.05,  $G > 1$ ). De igual manera, el índice de desarrollo urbano ( $U$ ) desciende, mostrando el valor más bajo (0.96,  $U < 1$ ) de toda la serie, como en el caso del citado retroceso del cambio cultural (0.95,  $W < 1$ ), con el cual guarda una estrecha similaridad.

La energía libre ( $E$ ) va descendiendo progresivamente desde 2004 hasta el año en que se manifiesta la crisis económica ahora conocida como Gran Recesión. En 2009 cae hasta alcanzar un significativo valor negativo ( $-1.19$ ,  $E < 0$ ) que no se repetirá en toda la serie (2004-2018). Este parámetro está expresando la gravedad de la adversa situación que atraviesan los Estados Unidos de América en ese momento. El proceso se ha vuelto irreversible por el fracaso de la política económica aplicada y la mala gestión de la crisis.<sup>3</sup> Como puede observarse en la tabla 1, en los primeros años que siguieron se supo reaccionar y las medidas tomadas dieron su fruto, si bien hubo sobresaltos que ponen de manifiesto los incrementos negativos de dicho parámetro ( $\Delta E$ ). Este último indicador exhibe su enorme utilidad a la hora de advertir o predecir el probable estallido de la crisis en los años precedentes, tal como hiciera el  $iR$ .

En 2009 también se registra un descenso de la cohesión social ( $O$ ,  $iO$ ). Finalmente, se observa en la serie una progresiva disminución de la estabilidad sistémica de la sociedad norteamericana:  $Q$  cae hasta  $-0.06$  ( $Q < 0$ ), mientras que el  $\Delta Q$  anunciaba o predecía en los años previos a la crisis su inminente estallido.

En la primera gráfica de la figura 1 se representan cuatro parámetros:  $iR$ ,  $Z$ ,  $E$  y  $Q$ . Tan solo se puede apreciar la evolución de uno solo ( $E$ ) a través de su curva, el cual aparece aislado en la siguiente gráfica. Para hacer lo mismo con los restantes, se suprime este último. Sin embargo, tampoco se consigue un buen resultado de esta manera. Si ahora separamos la curva del

<sup>3</sup> Si la energía libre ( $E$ ) negativa ( $E < 0$ ) expresa la irreversibilidad del proceso social, es decir, la crisis de la gestión de la economía o de la política económica; cuando su incremento también se hace negativo ( $\Delta E < 0$ ) de forma prolongada está anticipando o prediciendo el ulterior estallido de la contracción de la economía.

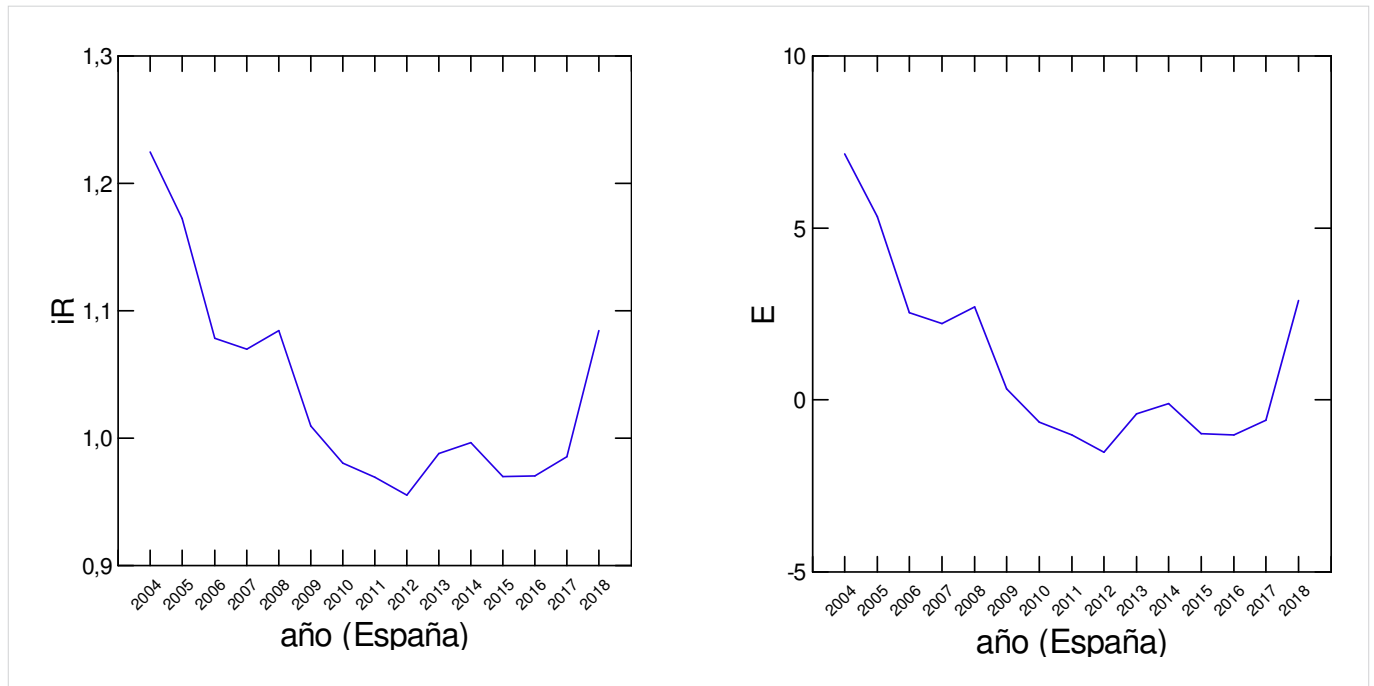


Figura 2. Representación gráfica del índice de riqueza relativa (iR) y la energía libre que expresa la reversibilidad ( $E > 0$ ) o irreversibilidad ( $E < 0$ ) de los procesos sociales en la serie temporal correspondiente a España (2004-2018). Obsérvese cómo ambos indicadores reflejan claramente los efectos de la Gran Recesión registrada en el año 2009 según el parámetro R (riqueza relativa).

iR, dejando tan solo en la gráfica conjunta los parámetros Z y Q, ya conseguimos apreciar claramente su evolución temporal, que muestra gran semejanza, sobre todo si aislamos la curva de Q. No obstante, la mayor similitud se da, tal como puede verse en la figura 1, entre iR y E. De hecho, ambas curvas son casi idénticas.<sup>4</sup> La semejanza visualizada a través de las curvas es confirmada por el coeficiente de correlación de Pearson para iR/E (0.9998) y Z/Q (0.9964). En todos estos cuatro parámetros se cumplen las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) (SYSTAT 2007).

Sin embargo, el ejemplo paradigmático de los Estados Unidos de América no es el único. La similitud entre las curvas iR y E también se ha detectado en otros países actuales como España (fig. 2) o la Mesoamérica prehispánica (Teotihuacan, cuenca del Balsas). Esto viene a decir que la evolución de la economía (iR) es directamente proporcional a la gestión política de la misma (E). En otras palabras, las decisiones tomadas en la gestión de la economía, tanto si son acertadas como si no lo son, siempre influirán de forma decisiva en el devenir de la actividad económica.

<sup>4</sup> Observando por separado cada uno de esos parámetros y comparándolos entre sí, se hace todavía más evidente la similitud existente en la tendencia seguida por ambos.

Respecto a la estrecha relación entre Z y Q, aunque no sea tan exacta como en el caso de iR y E, significa que el estado general de una sociedad (Z) es directamente proporcional a la estabilidad de la misma (Q) en un momento determinado.

El propósito de esta modesta contribución ha sido mostrar la enorme utilidad de la *arqueología de los fenómenos sociales* (AFS) para ampliar nuestro conocimiento sobre un fenómeno social tan actual como la Gran Recesión, sin menoscabo de otros estudios imprescindibles para entender su complejidad (Cochrane *et al.* 2011; Lakner y Milanovic 2013, 2015; Pfeffer *et al.* 2013; Christiano *et al.* 2015; Cynamon y Fazzari 2015).

## CONCLUSIONES

1. Hemos visto cómo, al remontarnos en el tiempo a través de la serie temporal estadounidense, se observan con nitidez los síntomas de esa crisis conocida como Gran Recesión, años antes de que se hiciera claramente visible a través de la caída de la riqueza relativa en 2009. En otra publicación que seguirá a la presente se abordarán los efectos de la Gran Recesión norteamericana que contagió a numerosos países de todo el mundo, afectando seriamente a su actividad financiera, comercial y productiva. Hasta ahora se han estudiado

Irlanda, el Reino Unido, Alemania, Francia, Portugal, España, Italia y Grecia. Anticipando sus resultados, se aprecia una desaceleración de la economía previa a la eclosión de una crisis que se extendió ampliamente por el mundo actual, impactando con mucha mayor dureza fuera de esos Estados Unidos de América que la gestaron y desencadenaron.

2. El nuevo avance científico aquí presentado permite a la *arqueología de los fenómenos sociales* (AFS) o *arqueonomía* sustentar la solidez de su edificio teórico mediante dos nuevos pilares fundamentales: la energía libre (E) —concepto tomado de la termodinámica y adaptado al contexto arqueológico del registro funerario— que mide la reversibilidad/irreversibilidad de un proceso social y otro parámetro (Q) que hace lo mismo con la estabilidad/inestabilidad de la sociedad inmersa en dicho proceso, los cuales contribuyen de forma decisiva a conformar la naturaleza científica y capacidad predictiva de esta avanzada disciplina social.

3. Demostrada la predictibilidad de los procesos sociales mediante la AFS, su aplicación al mundo actual

no solo arroja esperanzadores resultados a nivel predictivo sino que evidencia su enorme utilidad para comprender la complejidad de las sociedades humanas, tal como se vislumbra a través del caso de la Gran Recesión de 2008, cuyos efectos quedaron registrados a partir del año 2009 según se ha visto en el caso analizado.

### Reflexión final

Ante evidencias tan aplastantes acumuladas durante tantos años, la comunidad científica debería plantearse no solo reconocerlas si quiere seguir siendo respetada, sino también considerar si la actual arqueología debe convertirse en una verdadera disciplina científica siguiendo el firme camino trazado por la *arqueología de los fenómenos sociales* tras el sonoro fracaso de otros intentos anteriores; o bien, si ello no fuera posible, admitir a esta última como una verdadera ciencia nomotética con su nueva denominación de *arqueonomía*. Esa es la verdadera revolución arqueológica pendiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- BANCO MUNDIAL. 2019a. *INB per cápita, método Atlas (US\$ a precios actuales)*.  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.PCAP.CD>.
- BANCO MUNDIAL. 2019b. *Población, total*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>.
- BORGNACKE, C., R. E. SONNTAG. 2013. *Fundamentals of Thermodynamics*. Hoboken, Nueva Jersey: Jon Wiley & Sons. [8.ª ed.]
- CALLEN, H. B. 1981. *Termodinámica: introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible*. Madrid: Editorial AC.
- CHRISTIANO, L. J., M. S. EICHENBAUM, M. TRABANDT. 2015. Understanding the great recession. *American Economic Journal: Macroeconomics* 7/1: 110-167.
- COCHRANE, J. H. 2011. Understanding policy in the great recession: Some unpleasant fiscal arithmetic. *European Economic Review* 55/1: 2-30.
- CYNAMON, B. Z., S. M. FAZZARI. 2015. Inequality, the Great Recession and slow recovery. *Cambridge Journal of Economics* 40/2: 373-399.
- DEVOE, H. 2015. *Thermodynamics and Chemistry*. College Park, Maryland. [2.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. <http://purl.org/aia/3806>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2016a. Calculando el nivel de recursos disponibles a partir del registro funerario mesoamericano. *Arqueología Iberoamericana* 29: 62-67. <http://purl.org/aia/2910>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2016b. Midiendo las fluctuaciones de la economía argárica a través del registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 30: 77-90. <http://purl.org/aia/309>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2016c. Monte Albán y el colapso clásico según el registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 32: 52-60. <http://purl.org/aia/327>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2017a. *Fundamentos de la arqueología de los fenómenos sociales I*. *Advances in Archaeology* 3. Graus. <http://purl.org/aa/03>.

- IZQUIERDO-EGEA, P. 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>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2018a. Leslie A. White y la medición objetiva del cambio cultural de la humanidad. *Arqueología Iberoamericana* S2: 15-18. <http://purl.org/aia/S203>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2018b. Implementando una ecuación estadística para medir el colapso en la antigua Mesoamérica. *Arqueología Iberoamericana* S2: 23-26. <http://purl.org/aia/S205>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2018c. Una ecuación estadística para medir el riesgo de guerra en la Mesoamérica prehispánica. *Arqueología Iberoamericana* 39: 67-70. <http://purl.org/aia/3907>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2018d. Boltzmann y la conexión de la termodinámica con la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 40: 101-104. <http://purl.org/aia/4011>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2019a. Midiendo el grado de desarrollo urbano a través del registro funerario. *Arqueología Iberoamericana* 42: 50-53. <http://purl.org/aia/4206>.
- IZQUIERDO-EGEA, P. 2019b. Sobre la ley fundamental de la arqueología de los fenómenos sociales. *Arqueología Iberoamericana* 43: 67-70. <http://purl.org/aia/4308>.
- KLOTZ, I. M., R. M. ROSENBERG. 2008. *Chemical Thermodynamics: Basic Concepts and Methods*. Hoboken, Nueva Jersey: Jon Wiley & Sons. [2.<sup>a</sup> ed.]
- LAKNER, C., B. MILANOVIC. 2013. *Global Income Distribution: From the Fall of the Berlin Wall to the Great Recession*. The World Bank.
- LAKNER, C., B. MILANOVIC. 2015. La distribución global del ingreso. De la caída del Muro de Berlín a la Gran Recesión (Global Income Distribution: From the Fall of the Berlin Wall to the Great Recession). *Revista de Economía Institucional* 17/32: 71-128.
- LEVINE, I. N. 2004. *Fisicoquímica*. Vol. 1. Madrid: McGraw-Hill. [5.<sup>a</sup> ed.]
- PFEFFER, F. T., S. DANZIGER, R. F. SCHOENI. 2013. Wealth disparities before and after the Great Recession. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 650/1: 98-123.
- PLANCK, M. 1969 [1917]. *Treatise on Thermodynamics*. Mineola, Nueva York: Dover Publications.
- SEMEGA, J., M. KOLLAR, J. CREAMER, A. MOHANTY. 2019. *Income and Poverty in the United States: 2018*. Current Population Reports. United States Department of Commerce, U.S. Census Bureau.
- SYSTAT SOFTWARE, INC. 2007. *SYSTAT® 12. Language Reference*. Chicago.