

LA ECONOMÍA Y LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

El fenómeno de la Pila de Arena

JUAN LUIS VALDERRÁBANO LÓPEZ*

Fecha de recepción: 2 de abril de 2013.

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2013.

Aceptar que acontecimientos tan diferentes como las crisis económicas y los tsunamis puedan tener algo en común resulta llamativo. Lo tienen. Son actos que no podemos predecir y se rigen por fenómenos cuyas leyes no conocemos pero que la experiencia nos informa se producirán inexorablemente. Nos resulta imposible establecer la fecha y la hora del próximo suceso, pero en el recuento histórico que llevamos van dejando su huella y su aviso. En general los hechos de esta naturaleza resisten al tratamiento predictivo, fin último de una buena teoría. Son únicos.

Algo parecido sucede con las crisis económicas. De acuerdo con los datos disponibles, están registrados los siguientes ciclos (expansiones y contracciones) de la economía americana¹:

- 1854-2009 (33 ciclos).
- 1854-1919 (16 ciclos).
- 1919-1945 (6 ciclos).
- 1945-2009 (11 ciclos).

En el último período (1945-2009) ha tenido lugar, en media, un ciclo cada seis años, y si se calcula una duración media de cada ciclo de un año, cada cinco años la sociedad americana estuvo inmersa en una recesión.

* Doctor en Física y doctorando en Economía de la Escuela Austriaca en el Departamento de Economía Aplicada I de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

¹ <http://www.nber.org/cycles/cyclesmain.html>

Con estos datos podemos afirmar que, aparte del período entre guerras, una crisis económica es un fenómeno relativamente frecuente en la escala humana y social formando parte de la vida de las personas y de las sociedades occidentales. La globalización ha contribuido a su extensión y severidad, ya que al estar las economías nacionales progresivamente más conectadas, las crisis han ganado en extensión afectando a un mayor número de países.

La mayor parte de las crisis resultan en unos pocos meses de convalecencia, pero de tanto en tanto suceden algunas de años de duración, con graves repercusiones sobre la vida de las personas y el funcionamiento de las empresas. Periódicamente se producen crisis virulentas, caracterizadas por su celeridad y extensión, que recuerdan a los fenómenos catastróficos naturales como son los seísmos y los tsunamis.

Hoy en día, dada la magnitud de la catástrofe y el impacto sobre las personas, existe gran interés por parte de la Sociedad y sus dirigentes en estudiar y analizar qué se puede hacer ante estas situaciones. Dicho de otra forma, la Sociedad se hace la pregunta que se plantea el que padece crisis epilépticas: «¿Podemos contar con alarmas tempranas? ¿Qué señales nos pueden avisar de la formación o desarrollo de una crisis? y, en el mejor de los casos, ¿hay algo que se pueda hacer para evitarlas?».

Con objeto de ilustrar una forma de estudiar problemas sobre los que no contamos con toda la información, y donde nos resulta difícil relacionar lo que observamos con lo que suponemos que son las causas subyacentes, existen algunos modelos que nos pueden ayudar a reflexionar. No son una solución apresurada, son una forma de empezar a tratar aquello que no podemos describir de la manera científica a la que estamos acostumbrados, esto es, con toda precisión.

Todo el mundo recuerda ese montoncito de arena que se hace en la playa. Se deposita lentamente tierra húmeda en el suelo, que escurre por el hueco del puño de la mano con mimo y delicadeza. El montoncito lo hacemos crecer hasta que llegado un momento, si añadimos más arena ésta resbala por el lateral y arrastra a otra con ella. Lo conocemos con el nombre de la Pila de Arena o en su variante sajona *Sandpile*.

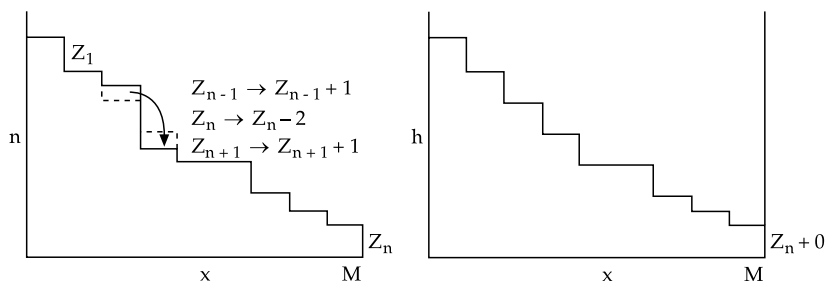
Este modelo tan familiar y sencillo nos presenta una interesante oportunidad para analizar situaciones complejas. Desde un punto de vista conceptual,² la descripción escueta de la pila de arena no presenta ninguna complicación. Se resuelve para una dimensión con el uso de unas pocas reglas de transformación sencillas que describen la adición y el desmonte, es decir la dinámica de la Pila de Arena, generalizable a varias dimensiones sin problemas. Las expresiones del modelo ilustran que los granos de arena se van depositando localmente de una manera ideal, y que una vez hecho esto sólo se ven afectados por causas o fuerzas cuya acción se describe geoméricamente. Estas causas o fuerzas, que no se mencionan, se activan cuando la pendiente del lado de la pirámide excede cierto valor, momento en el cual el grano de arena cae a la posición vecina.

Dicho formalmente. Sea $h(n)$ la altura en un punto de la pila n , trabajaremos con el valor $z(n) = h(n) - h(n+1)$. Las reglas de transformación del modelo son las siguientes:

Cuando se añade un grano en la posición n se verifica que

$$z(n) \rightarrow z(n)+1 \quad z(n-1) \rightarrow z(n-1) -1$$

Si la diferencia de altura es mayor que un determinado valor crítico z_c la unidad cae al nivel más bajo:



$$\begin{aligned}
 &z(n) \rightarrow z(n)-2 \\
 &z(n\pm 1) \rightarrow z(n\pm 1) +1 \\
 &\text{para } z(n) > z_c
 \end{aligned}$$

² Bak P. and Paczuski M. (1995), «Selforganized Criticality» *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92, 6689-6696.

Este proceso se repite hasta que en todos los puntos se verifica que:

$$z(n) < z_c$$

o condición de estabilidad. El modelo se completa con las condiciones de los bordes o contorno que no incluimos aquí.

Es necesario añadir algo más. La pila de arena tiene avalanchas, efectos dominó o corrimiento general de granos de arena cuando llegado al límite de la pendiente se añaden más granos. Se denomina tamaño de la avalancha al número de granos que arrastra. Es decir, si la adición de un grano de arena provoca que se produzcan s desmontes la avalancha tiene un tamaño de s .

Este modelo tan sencillo proporciona unos elementos generales sobre los que debemos reflexionar. Primero describe un fenómeno contingente, es decir, señala que si pasa esto sucede aquello. Relacionamos lo que observamos con lo que sucede: la construcción de la pila (añadiendo granos de arena) hasta alcanzar uno de los estados de equilibrio y, en su caso, su ulterior colapso. El estado de equilibrio se alcanza de muchas maneras y el equilibrio es crítico. Perturbado al añadir más arena, el sistema retorna a un estado de equilibrio que no es el original. El modelo no revela cuando se produce esta situación ni establece una previsión al respecto. No es predictivo ni descriptivo en el sentido de ligar causas y efectos. El funcionamiento y descripción de las fuerzas de la mecánica no forman parte del mismo. Finalmente se trata de un modelo no-lineal: no plantea relación causa-efecto alguna. Se puede considerar que es narrativo, nada más.

El segundo elemento de reflexión tiene que ver con una categoría de fenómenos que conocemos. Son los fenómenos propios de los sistemas dinámicos grandes que están al límite del equilibrio. Cuando son perturbados estos sistemas pueden tener un comportamiento caótico, como lo representan las avalanchas. Podemos incluir en esta categoría fenómenos como los atmosféricos, seísmos, tsunamis y crisis económicas. Concuerda muy bien con la experiencia que tenemos de esos sistemas, en los que aparentemente una pequeña perturbación puede generar una hecatombe.

El tercer elemento es algo más elaborado. Si se simula el modelo en un ordenador podemos estudiar la distribución de las

avalanchas en relación a su tamaño, y determinar la probabilidad $P(s)$ de que se produzca una avalancha de tamaño s , es decir, con s desmontes. La distribución obtenida $P(s)$ es de la forma

$$\text{Log}(P(s)) \sim -\alpha \text{Log}(s)$$

o potencial, también conocida como distribución de Pareto-Levy. Este patrón tiene para nuestro caso varias lecturas. Resulta que los acontecimientos extremos, grandes en particular (corrimientos de muchos granos), son casi tan relevantes como los pequeños (de pocos granos) y en relación a la media no son improbables. Es decir, los sistemas al borde del equilibrio exhiben un comportamiento en el que entre los fenómenos pequeños se sitúan los grandes. Esto ha conducido a la suposición de que hay principios o leyes macroscópicas emergentes en las estructuras complejas que no hemos descubierto.

En particular, en aquellos fenómenos de la economía en los que estudiamos su distribución en algunos casos aparece, y en otros se asume que adopta una distribución natural o gaussiana, que en general es la que regla para describir fenómenos sociales. Esta distribución es muy intuitiva, sencilla de manejar y para los asuntos humanos muestra algo con lo que estamos muy familiarizados: que los fenómenos de fuera de escala (muy grandes o muy pequeños) son improbables. En la distribución gaussiana, los sucesos atípicos o aquéllos que se rigen por las colas de la distribución son muy poco probables comparados con la media, pues la función gaussiana se atenúa exponencialmente en los extremos. Las llamadas colas de la distribución, es decir, aquella parte que da cuenta de los fenómenos muy pequeños o muy grandes en relación a la media, se amortigua rápidamente de modo que los presenta como improbables. Sin embargo, según las observaciones la realidad no es así. Séismos de toda magnitud tienen lugar y los muy grandes no son improbables como sabemos tristemente.

En Economía tenemos un caso tomado del mundo de las finanzas que es el siguiente. Al analizar la serie de los valores β (desviación respecto a la media) de las cotizaciones de los T-bonds (bonos del tesoro) a 10 años durante un período de 22 años, se observaron desviaciones superiores a 4,5 SD (Desviaciones Estándar) en 11 ocasiones a lo largo de ese período. De acuerdo con

la distribución de Gauss, eventos de este calibre deberían producirse 1 vez cada millón de años. Además, estos valores que deberían haberse presentado al azar durante los 22 años, estaban agrupados o clusterizados. Es decir, no eran improbables y no eran azarosos. Por tanto, la estadística que rige estos valores dudosamente es la gaussiana.

Llegados a este punto es necesario preguntarse qué podemos hacer. Modelos como la Pila de Arena pueden ayudar a que podamos estudiar fenómenos complejos, en tanto en cuanto el conocimiento progresa, como ya sucedió con las Leyes de Mendel, el Genoma y el principio de Hardy-Weinberg. Las leyes de la herencia a través de las Leyes de Mendel establecieron el resultado de la misma sin referencia al detalle, es decir, la composición del genoma, su mecanismo fue refrendado posteriormente por el principio de Hardy-Weinberg³ que llega al mismo resultado tomando en consideración la estructura del genoma. Por tanto, debemos descubrir leyes económicas que permitan tener información sobre la economía desconociendo el detalle. Es de esperar que la progresión del conocimiento nos permita ir contando a su vez con teorías y modelos más refinados que a su vez consigan conectar ambos paradigmas.

Es posible tratar los problemas económicos mediante modelos derivados de otras disciplinas. En este sentido, nos interesan teorías que presenten las siguientes características:

- Generalidad: Cuantos más fenómenos expliquen más verosímil nos parece.
- Consiliencia: Preferimos teorías que usen unidades y procesos de una disciplina que conforman con lo conocido en otras disciplinas.
- Predictibilidad: Preferimos teorías que puedan establecer predicciones precisas en diversos entornos que sean fácilmente observables.
- Parsimonia: Cuantas menos unidades y procesos utiliza la teoría para dar cuenta de un fenómeno, mejor.

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Hardy-Weinberger_principle.

La Ciencia con la que actualmente contamos para dar cuenta de los fenómenos de la Naturaleza es «contra natura», es decir, no hay principios menos intuitivos que los de la Relatividad y la Mecánica Cuántica, pero nunca en la Historia se han obtenido experimentalmente resultados más exactos. El genoma, base del motor que explica la construcción del ser humano, está milimétricamente determinado y ensamblado por los aminoácidos que lo constituyen. Se persigue con ahínco el misterio del cerebro utilizando técnicas de escrutinio del mismo para ver qué se pone en marcha cuando pensamos, sentimos, o imaginamos. Las Ciencias Sociales se ven expuestas a dificultades desde el punto de vista de la valoración y consideración social, ya que no son capaces de dar respuesta a los importantes problemas que afectan a la sociedad del bienestar y que atribulan a las personas. Los avances en las Ciencias Naturales se han obtenido después de un largo período de experimentación que ha dado lugar a las hipótesis tan poco intuitivas que las sustentan. El salto cualitativo ha sido el fruto de nuevas teorías acuñadas a la sombra de datos experimentales, lo que en otros casos no es posible pues no se pueden hacer experimentos ni son esperables, ya que las circunstancias cambian más deprisa que las teorías que se pretenden validar.

Entretanto, la búsqueda de soluciones a los problemas que afronta la sociedad la hacemos por otros caminos. Fundamentalmente porque pensamos que dos problemas que comparten una apariencia semejante se debe a que tienen una raíz común. La apariencia afecta a aquello que observamos.

No hemos encontrado la manera de transitar entre los modelos que hacemos para imaginar y explicar lo particular, y lo que observamos, que es lo general. El ejemplo clásico más a mano es la mecánica estadística. A partir del modelo cinético de las partículas de un gas, relacionamos las variables que observamos, esto es la presión y la temperatura, con los aspectos mecánicos de estas partículas como es el momento. No es necesario caer en el vicio contrario, es decir, porque seamos capaces de tal cosa no podemos afirmar que las partículas del gas tengan la naturaleza que el modelo les asigna. El general no valida lo particular. Tenemos familiaridad con la célebre anécdota de la mariposa, cuyo aleteo en un lugar distante puede provocar un tornado en el Caribe.

Sabemos que en sistemas dinámicos grandes una pequeña perturbación puede inducir a un comportamiento caótico, esto es, en el que no podemos hacer predicciones. Hemos observado que las mismas ecuaciones que describen acertadamente un modelo como puede ser el de la predicción meteorológica, bajo una alteración de los parámetros que describen la misma da lugar a soluciones divergentes o caóticas.⁴ También sucede lo mismo bajo pequeños cambios de las condiciones iniciales. Es decir, un sistema descrito por las mismas ecuaciones «bifurca» a partir de unas mismas condiciones iniciales a diversos estados de estabilidad e inestabilidad según el valor de los parámetros. Es posible que para explicar el comportamiento desbocado de ciertos sistemas no sea necesario recurrir a otros modelos de la realidad. Los mismos modelos bajo ciertas circunstancias de los parámetros que los definen, dan cabida a comportamientos divergentes. El ser humano ha estado acostumbrado a la linealidad de causas y efectos y a los fenómenos estáticos, sin embargo ni los fenómenos de la vida ni los de la sociedad lo son.

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Lorenz_attractor.