

Complejidad: lo bueno, lo malo y lo feo

Ernesto Altshuler

Cátedra de Sistemas Complejos “Henri Poincaré”, Facultad de Física, Universidad de La Habana,
ealtshuler@fisica.uh.cu

Recibido el 2/06/2006. Aprobado en versión final el 1/12/2006 .

Sumario. La Complejidad es un área fresca y dinámica de la ciencia contemporánea, pero también un etiqueta de moda: incluye, en principio, una enorme cantidad de asuntos físicos, matemáticos, biológicos e incluso sociológicos de forma supuestamente unificada. “Emergencia”, “No linealidad” y “Auto-organización” son algunos de los términos que van y vienen en este escenario, y que a veces se traen a colación sin poseer una idea clara de sus significados en el contexto original en el que fueron creados. En general, los físicos evitan esos problemas intentando definir la Complejidad de forma tan precisa como sea posible. Sin embargo, aquí ilustraré que esta es una tarea extremadamente delicada.

Abstract. Complexity is a fresh and dynamic branch of contemporary science, but also a fashionable label: it embraces, in principle, a huge amount of physical, mathematical, computational, biological and even sociological issues under a supposedly unified approach. “Emergence”, “Non linearity” and “Self organization” are some of the terms that come and go in this scenario; sometimes without a clear idea of what they mean in the context they were created. In general, physicists avoid such problems by trying to define Complexity as precisely as they can. However, I will show here that this is an extremely delicate task.

Palabras clave. Sistemas Complejos 89.75.-k, Dinámica no lineal y Caos 05.45.-a.

1 Introducción

Un rápido vistazo a un grupo de títulos de libros de popularización científica aparecidos en los últimos años – algunos de ellos firmados por autores muy respetables–, parecen indicar que estamos a las puertas de la más grande de las revoluciones del conocimiento humano. Invito al lector a juzgar por sí mismo: “A New Kind of Science” (Wolfram, 2002), “Sync: the emerging science of spontaneous order” (Strogatz, 2003), “How Nature Works: The Science of Self Organized Criticality” (Bak, 1996), “Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks (Buchanan, 2002). En un tono un tanto triunfalista, algunos han resumido esta explosión de ideas en el último de los paradigmas científicos: la llamada “Ciencia de la Complejidad” o, con un tono más académico, la “Teoría de la Complejidad”.

Pero, ¿Qué tienen en común las ideas subyacentes en

todos esos títulos, además del hecho de que sus autores son físicos o matemáticos de formación? En primer lugar, la *interdisciplinariedad*: cada uno de estos libros trata sobre grandes principios aplicables, en principio, a un extenso rango de fenómenos, que comprenden desde la Física hasta las ciencias sociales. En segundo lugar, los autores intentan colocar en términos *cuantitativos* sus ideas. En tercer lugar, la *computación* –utilizada lo mismo para modelar teóricamente que para adquirir masivamente datos del mundo real– juega un rol protagónico. Y es justamente esa tendencia a *cuantificar* las ideas en áreas interdisciplinarias de la ciencia –eventualmente mediante el uso de las computadoras– lo que, en mi opinión, intenta seriamente romper con el estilo convencional en muchas áreas del conocimiento, especialmente la Biología, la Sociología, la Lingüística, y aun la Historia y la política.

Este espíritu cuantificador no debe extrañarnos, si consideramos que, según algunos autores¹, la Ciencia de

la Complejidad tiene su Génesis en el enlace de las ciencias particulares (físicas, biológicas, médicas y sociales) con la Matemática, a través de tres disciplinas. Estas disciplinas “puentes” son la teoría de Sistemas Dinámicos, la Cibernética, y la teoría General de Sistemas, cuyos precursores mayoritarios fueron físicos y matemáticos de formación, entre los que destacan Newton, Poincaré, Wiener, Von Neumann y Shannon, junto a los biólogos Von Bertalanffy y Waddington¹.

Volviendo a los títulos de libros arriba enumerados, pudiera establecerse un último elemento común a todos ellos: la supuesta necesidad de un “cambio de paradigma”. En principio, algunos de sus autores propugnan que la filosofía *reduccionista* que ha protagonizado las ciencias exactas y naturales –especialmente la Física– en los últimos siglos, ha de romperse –o al menos modificarse, diría yo– a las puertas de la “Ciencia de la Complejidad”.

Quisiera terminar esta sección citando un último título grandilocuente: “Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, relativas a la mecánica y a los movimientos locales”. A diferencia de las anteriormente citadas, esta obra data de una época antigua –1638– y su autor es considerado el padre de la ciencia moderna: Galileo Galilei. Desde luego, hay otra importante diferencia entre éste, y los títulos anteriores: “Discursos...” ha demostrado sólidamente su trascendencia a través de los siglos.

2 El peligro de las “palabras claves”

Un efecto colateral de la popularidad alcanzada por los libros de nuestra lista, es la entrada en escena de un grupo de palabras “claves” (o de moda) en el terreno de los llamados “fenómenos complejos”.

Desde luego, todas las disciplinas científicas poseen palabras “claves” que, por cierto, pueden ser malinterpretadas, o simplemente, falseadas, si se sacan de contexto. Por ejemplo, si en Física o en Matemática hablamos de “caos”, sabemos que estamos hablando de *un comportamiento no periódico en un sistema determinista, que exhibe sensibilidad a las condiciones iniciales*² –lo cual, desde luego, se puede expresar en términos cuantitativos precisos. En el lenguaje común, “caos” significa, simplemente, “desorden”. Ésta última acepción del término “caos” en el contexto científico constituye una de las contribuciones más perniciosas a lo que pudiéramos llamar el “Efecto Torre de Babel de la Complejidad”. Pero este problema no nos debe extrañar: el caos que nos interesa exige, para ser comprendido a cabalidad, de cierto entrenamiento matemático.

Conceptos como “Sistemas dinámicos”, “Sistemas disipativos”, “No linealidad”, “Caos”, “Atractores extraños”, “Invarianza de Escala”, “Auto-organización”, “Emergencia”, “Autómata celular”, que fueron creados mayoritariamente en el seno de la Matemática y de la Física con un significado muy bien determinado, tienden

a ser utilizados de forma inexacta e, incluso, completamente errónea, al ser trasplantados a otros contextos. Estos problemas pueden tener su origen en el simple desconocimiento, pero también en el deseo de insuflar el discurso con un elegante estilo *complejo* sin tomarse el trabajo de precisar lo que se está diciendo. Y esto, en mi opinión, es extraordinariamente lesivo para los que intentan construir la “Ciencia de la Complejidad” con la mayor dignidad científica posible.

Aunque el significado de una buena parte de estos conceptos se puede encontrar rigurosamente expuesto, a nivel cualitativo, en algunas de las obras de divulgación arriba citadas (ver, por ejemplo, ref. [3]), se recomienda al lector remitirse otras referencias para una discusión más rigurosa^{2,4,5,6}.



Figura 1. La Torre de Babel de la complejidad

3 Intentando definir la Complejidad

Según Boccara –en una definición que aceptaría la mayoría de los autores– son “complejos” aquellos sistemas que poseen el siguiente grupo de características⁶:

- Están formados por un número grande de agentes interactuantes
- Exhiben emergencia (o sea, un comportamiento colectivo, auto-organizado, difícil de predecir sobre la base del conocimiento del comportamiento de cada agente)
- El comportamiento emergente no resulta de la existencia de un “controlador central”

La aparición de propiedades emergentes difíciles de predecir, es quizás la característica más importante de los sistemas complejos. Un ejemplo es la formación de una pila de arena: si agregamos arena lentamente a una superficie horizontal, se forma una pila con un “ángulo de reposo” que define la superficie superior a lo largo de toda la pila. Sin embargo, este ángulo macroscópico está determinado por interacciones entre granos que, en primera aproximación, son de muy corto alcance: de hecho, resulta muy difícil prever la emergencia del ángulo de reposo a partir solamente del conocimiento de tales in-

teracciones. Obsérvese que, si la superficie horizontal se hace vibrar, agregando así un “ruido térmico” al sistema, no se formará una pila, sino que la arena se esparcirá horizontalmente sobre la superficie. Ésta sí es una situación predecible en el marco de la Física Estadística de equilibrio: el sistema, simplemente, trata de acomodarse a la configuración de menor energía (potencial, en este caso).

A pesar de que las condiciones (a) – (c) parecen constituir una definición razonable, ésta tiene varias debilidades serias. Por ejemplo, ¿Qué quiere decir, en la condición (b), que el comportamiento colectivo “es difícil” de predecir sobre la base del conocimiento del comportamiento de cada agente? ¿Quiere esto decir que, si tuviéramos el armamento teórico adecuado, *sí* podríamos predecir el comportamiento colectivo, tal y como podemos predecir la ecuación de estado de un gas ideal, $pV = nRT$, conociendo tan sólo el comportamiento de cada molécula del gas? En otras palabras, ¿es absolutamente esencial la necesidad del cambio del paradigma reduccionista, o constituye tan sólo un cambio de hipótesis de trabajo, mientras encontramos armamentos más fuertes para la predicción de comportamientos “complejos”?

Otro elemento discutible en la definición es el (a). Según Parisi, “Un sistema es complejo si su comportamiento depende crucialmente de los detalles del sistema”⁷. Para el autor, los “detalles del sistema” puede referirse a la forma de las ecuaciones que lo describen, o a las condiciones iniciales –en este sentido, su definición nos recuerda fuertemente la de un sistema caótico. Esta definición, además, sugiere que la pila de arena no es un sistema complejo, pues ocurre que el ángulo crítico es muy poco sensible a los detalles del sistema.

Si adoptamos esa definición, ciertos sistemas caóticos de pocos “agentes” se podrían clasificar como complejos, lo cual contrasta con el punto (a) de la definición de Boccara. Según Parisi, el cambio de paradigma que tiene lugar al tratar los sistemas complejos está relacionado con un cambio de la naturaleza de nuestro concepto de predicción: en ellos no tiene sentido intentar realizar predicciones al estilo de la mecánica de Newton-Laplace, sino sólo podemos predecir las características generales del comportamiento de determinadas “clases de sistemas”.

Al llegar a este punto, quizás sea conveniente volver al inicio, y quedarnos con una definición de Complejidad muy rudimentaria, basada en la *habilidad para describir* los sistemas, que se ilustra en la Figura 2. Si en un extremo tenemos los sistemas perfectamente ordenados (cuyo paradigma sería un material cristalino perfecto, fácilmente describable matemáticamente) y en el otro, los sistemas completamente desordenados (cuyo paradigma podría ser un gas ideal sometido a agitación térmica, también fácilmente describable matemáticamente), los sistemas complejos quedarían en una zona de “difícil descriptividad”, localizada al centro. Por ello algunos autores han definido cuantitativamente la Complejidad

de un sistema como “la mínima cantidad de información que se requiere para describirlo”, o, si se quiere, “la mínima longitud de un mensaje necesaria para describirlo”. Relacionada con esta definición existen otros conceptos contemporáneos, como el de “complejidad algorítmica”, que no discutiremos aquí. A pesar de la indudable fuerza de este tipo de definiciones, su generalidad está limitada por varios factores: dependen del *nivel de detalle* con el que se realiza la descripción, y del “idiotismo” del mensaje ó del algoritmo utilizado, por ejemplo⁵.

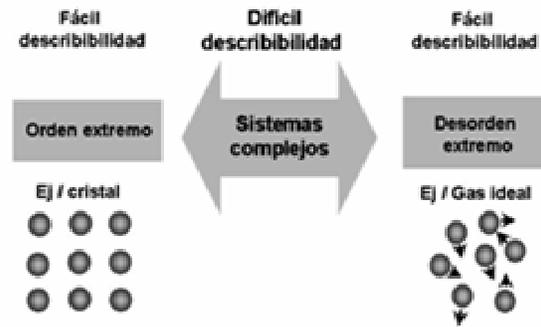


Figura 2. En busca de la definición de los sistemas complejos: una visión cualitativa.

4 Conclusiones

El terreno de la “Complejidad” o de los “Fenómenos Complejos” es un área interdisciplinaria fuertemente vinculada al desarrollo de la computación, que parece implicar un cambio total ó parcial en algunos paradigmas de la Física, como considerar imprescindible *reducir a sus partes* los sistemas para su estudio, y suponer que el conocimiento de las leyes individuales implica la *predicibilidad* del funcionamiento del todo. Como en toda “ciencia nueva”, no existe una definición perfecta de “Complejidad” y, mucho menos, una “Teoría de la Complejidad”.

La interdisciplinariedad inherente a la “Complejidad”, conlleva al peligro de que se falsee el significado de un grupo de términos relativamente bien definidos en los terrenos de la Matemática, la Física y la Computación, produciendo un lamentable efecto de “Torre de Babel” entre algunos científicos involucrados en el tema.

Si bien los científicos provenientes de las llamadas *ciencias exactas* han de abrir su mente a un nuevo paradigma de pensamiento al incursionar en el campo de la “Complejidad”, una de sus contribuciones mayores al tema es, sin dudas, la de mantener allí el rigor lógico y matemático que poseen por su propia formación.

Referencias

1. R. H. Abraham “The Genesis of Complexity”, in A. Montuori (ed.) “Advances in Systems Theory, Complexity and the Human Sciences” (2002)
2. S. Strogatz “Nonlinear dynamics and chaos” (Perseus

Books Publishing, 1994)

3. P. Bak "How Nature Works: The Science of Self Organized Criticality" (Springer-Verlag, 1996)

4. G. Nicolis y I. Prigogine "Exploring Complexity: an Introduction" (W. H. Freeman, 1989)

5. Y. Bar-Yam "Dynamics of Complex Systems" (Addison-

Wesley, 1997)

6. N. Boccara "Modelling Complex Systems" (Springer-Verlag, 2004)

7. G. Parisi "Complex systems: a Physicist's viewpoint". *Physica A* 263, 557-564 (1999).