

Carlos Gershenson

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas y Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México

cgg@unam.mx

Recepció: 14/03/2013, acceptació: 06/06/2013

Resumen: En años recientes hemos escuchado hablar más y más sobre complejidad. Pero pareciera que al haber una diversidad creciente de discursos sobre el tema, en lugar de generar conocimiento estamos generando confusión. En este artículo se ofrece una perspectiva para hablar claramente sobre la complejidad desde un punto de vista epistemológico.

Palabras clave: complejidad, epistemología, contexto, emergencia

Com parlar sobre complexitat?

Resum: En els últims anys s'ha sentit parlar cada cop més de complexitat. Tot i això, com que hi ha una diversitat creixent de discursos sobre aquest tema, en lloc de generar coneixement, estem generant confusió. En aquest article s'ofereix una perspectiva per parlar clarament sobre complexitat des d'un punt de vista epistemològic.

Paraules clau: complexitat, epistemologia, context, emergencia

How to discuss Complexity

Abstract: In recent years, we have heard more and more about complexity. However, it seems that given the increasing discourse divergence on this topic, instead of generating knowledge we are generating confusion. This paper offers a perspective to speak clearly about complexity from an epistemological point of view.

Keywords: complexity, epistemology, context, emergence

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes hemos escuchado hablar más y más sobre complejidad. Pero pareciera que al haber una diversidad creciente de discursos sobre el tema, en lugar de generar conocimiento estamos generando confusión. Vayamos a la raíz etimológica. Complejidad viene del Latín *plexus*, que quiere decir entretejido. En otras palabras, algo complejo es difícil de separar. ¿Por qué? Hay una *codependencia* entre los componentes de un sistema complejo. El futuro de cada componente, y por lo tanto del sistema, depende en parte de las *interacciones* que se dan entre los componentes (Gershenson, 2013b). Por lo tanto, no podemos estudiar de manera aislada a los componentes y esperar comprender el sistema. Por ejemplo, las propiedades de las moléculas de una célula no serán suficientes para comprender las propiedades de un sistema vivo. O bien, las propiedades de las neuronas de un cerebro no nos permitirán comprender la mente. Necesitamos considerar a las interacciones, ya que estas generan información relevante

que determina el futuro del sistema. Esta información nueva limita la previsibilidad de los sistemas (Gershenson, 2013a).

Lo complejo tiende a confundirse con lo complicado. Muchas personas usan ambas palabras como sinónimos. Sin embargo, debemos diferenciar a lo complejo como algo compuesto y a lo complicado como algo intrincado. Por lo tanto, lo complejo no es necesariamente algo difícil de entender. Podemos clarificar esta diferencia con sus opuestos: simple y sencillo. Hay sistemas complejos y complicados (redes genéticas, ecosistemas: hay muchas interacciones relevantes, las cuales son difíciles de desentramar y comprender), complejos y sencillos (modelos computacionales, tales como autómatas celulares (Wolfram, 2002): hay reglas muy sencillas de interacción que pueden producir dinámica muy compleja), simples y complicados (un fotón: estudiado de manera aislada (sin interacciones), su descripción es difícil de manejar) y simples y sencillos (una piedra: no tiene interacciones y al no tener dinámica interna, es fácil de describir).

Otra asociación que se hace a lo complejo es lo caótico. Pero tampoco lo complejo y lo caótico van siempre de la mano. Matemáticamente, el caos está bien definido: un sistema es caótico si por lo menos uno de sus exponentes de Lyapunov es positivo. Traduciendo, podemos decir que el caos se presenta cuando cambios pequeños generan grandes efectos (lo cual se puede medir con "exponentes de Lyapunov"). Lo opuesto del caos sería el orden, donde los cambios no generan efectos o se pierden en el tiempo. Hay sistemas complejos y caóticos (el tráfico urbano: miles o millones de agentes interactúan, pequeños cambios en esta configuración hacen la diferencia diaria entre embotellamientos o fluidez), complejos y ordenados (una catedral: las columnas, arcos y paredes interactúan para mantener la estructura sin cambio), simples y caóticos (el mapeo logístico: una ecuación con una variable que describe dinámica poblacional, la cual al iterarse puede producir caos) y simples y estables (otra piedra: aislada y sin dinámica).

En las siguientes secciones detallaremos distintos aspectos relevantes relacionados con la descripción de sistemas complejos: ¿Cómo podemos conocerlos (epistemología)? ¿Cómo podemos distinguirlos (contextualidad)? ¿Cómo podemos medirlos (escalas)? ¿Cómo podemos describirlos (modelos)? ¿Qué propiedades tienen (emergencia)?

2. EPISTEMOLOGÍA

La epistemología tiene una relación muy íntima con la ciencia, ya que ha estudiado el conocimiento, incluyendo su generación, verificación y propagación. Siguiendo a Wittgenstein (1953), podemos decir que el conocimiento *requiere* de un lenguaje para poder expresarse (compartirse y transmitirse). Desde un punto de vista constructivista, el lenguaje es también un requisito para la generación del conocimiento. La dependencia del conocimiento del lenguaje tiene fuertes implicaciones.

Veamos un ejemplo, ilustrado en la Figura 1: Imaginemos una esfera, la cual es mitad blanca y mitad negra. Sin embargo, sólo podemos verla desde una perspectiva. De hecho, percibimos un círculo, no una esfera. ¿De qué color es el círculo? La respuesta depende de la perspectiva desde la cual se observa a la esfera: algunos dirán que el círculo es negro, otros blanco, otros 75% negro y 25% blanco, etc. No podemos hacer una encuesta y determinar estadísticamente el color del círculo, ya que probablemente haya más personas observando a la esfera desde ciertas perspectivas. Más aún, la *utilidad* de la descripción también depende de la perspectiva. En otras palabras, puede no importar si la mitad de la esfera es blanca si a mí sólo me importa interactuar con ella desde la perspectiva donde se observa sólo un círculo negro.



Fuente de la imagen: autor

Algo similar ocurre con la descripción de cualquier fenómeno: podemos observarlo desde distintas perspectivas, lo cual tiene una implicación clave: no podemos estudiar un fenómeno de manera puramente objetiva, ya que necesitamos una descripción basada en una perspectiva, la cual está determinada por un observador. Esto no quiere decir que el observador tenga libertad absoluta en la descripción del fenómeno (Heylighen, Cilliers y Gershenson, 2007), sino que el objeto (lo observado), el sujeto (el observador) y la acción de observación (descripción) son interdependientes (Nydahl, 2011), por lo que *no se pueden estudiar de manera separada*.

3. CONTEXTUALIDAD

Lo que hasta ahora hemos llamado una perspectiva puede generalizarse como contexto (Morin, 2006, Massip-Bonet, 2013): el conjunto de circunstancias y condiciones que rodean y determinan una idea, teoría, proposición o concepto (Gershenson, 2002). No podemos decir nada si no es dentro de un contexto.

Lo complejo también depende de cómo se observe y describa a un sistema. Por ejemplo, el mismo fenómeno puede verse como simple o como complejo. Una célula se puede modelar con una variable Booleana (con sólo dos estados): '0' si está muerta y '1' si está viva. O podemos modelar a la misma célula con toda la riqueza de su diversidad y complejidad molecular. ¿Qué modelo es más "verdadero"? Ambos pueden coincidir con nuestras observaciones experimentales y pueden ser predictivos. Ambos pueden ser correctos. Podemos decidir entre modelos alternativos de manera pragmática: ¿qué modelo será más *útil*? Esto dependerá del propósito del modelo. Finalmente, también dependerá del contexto.

Podemos tener distintas descripciones válidas para el mismo fenómeno. Esto implica que no podemos decidir si un sistema **es** complejo o no, ya que esto depende de la descripción que estemos manejando. La cuestión es más bien: ¿cuándo es útil describir a un fenómeno como complejo? Esto será en los contextos donde nos interesen estudiar las interacciones de los componentes de un sistema, o bien cómo se relacionan las distintas *escalas* de un sistema (Morin, 2006). Si sólo me interesa enfocarme en un fenómeno aislado a una sola escala, una descripción simple será útil. Hay que notar que cuando describimos a un sistema como complejo, normalmente describimos a sus componentes como simples. Pero si hacemos un cambio de escala, esos mismos componentes podrían describirse adecuadamente como complejos.

4. ESCALAS

La escala (espacial, temporal, o funcional) a la que se observa un fenómeno está determinada por su contexto. Pero en muchos casos nos interesa estudiar un fenómeno a escalas múltiples. Por ejemplo, la dinámica de un ecosistema se verá muy distinta si se observa en una escala de días o en una escala de millones de años; en una escala de milímetros o en una escala de kilómetros; en una escala de especies moleculares o de especies biológicas.

Al haber distintas descripciones de los mismos fenómenos a escalas múltiples, naturalmente encontraremos ejemplos de sistemas que se consideren complejos a una escala pero no a otra. Por ejemplo, a una micro escala espacial, un gas está formado por trillones de moléculas con interacciones complejas, pero a una macro escala espacial podemos promediar sus propiedades y describirlo con pocas variables (presión, temperatura, volumen, color, olor, etc.). Otro ejemplo: la formación de un cristal puede describirse como un proceso complejo de auto-organización. Pero una vez que el cristal se ha estabilizado, ya no hay cambios, por lo que se pueden describir las partes del cristal de manera aislada. Dependiendo de la escala temporal, el cristal puede describirse como complejo o simple. En cuanto a escalas funcionales, podemos describir un razonamiento como algo simple (si *A* entonces *B*), pero la dinámica neuronal que le subyace es algo extremadamente complejo. No siempre la escala inferior es simple y la superior es compleja, sino que se pueden dar todas sus combinaciones, como en los ejemplos del gas y del cerebro.

La complejidad de un sistema depende de la escala a la que se observe (Bar-Yam, 2004). Uno de los retos más grandes de la ciencia contemporánea es comprender cómo se relacionan distintas escalas en los sistemas, por lo que requerimos de modelos de los mismos que permitan más de una descripción.

5. MODELOS

¿Cómo podemos decidir entre descripciones (modelos) alternativas del mismo fenómeno? Ya hemos visto que necesitamos considerar el propósito y el contexto, pero una vez que los hemos identificado, ¿qué herramientas nos permitirán escoger entre distintos modelos?

La ciencia ha desarrollado muchos métodos para comparar distintos modelos, los cuales podemos categorizar en experimentales y formales.

Los métodos experimentales contrastan un modelo con una observación, para comprobar la validez y utilidad del modelo. Esta observación puede ser sobre el fenómeno mismo, o sobre un sistema artificial (simulación en computadora, robots, artefactos).

Los métodos formales usan lógicas y matemáticas para evaluar la consistencia de un modelo, pero hasta cierto punto también requieren de un contraste experimental (Chaitin, 2004)

En el proceso de validación y verificación de un modelo, también debemos de tener en cuenta su propósito. Podemos categorizar a los tipos de modelos en predictivos y descriptivos.

Los modelos predictivos tratan de determinar el futuro de un sistema en base a su estado actual y/o pasado. Este tipo de modelos nos han permitido, por ejemplo, saber cuándo habrá eclipses, o calcular la resistencia de un puente antes de construirlo. Sin embargo, las interacciones que caracterizan a la complejidad limitan la previsibilidad de los fenómenos. Como mencionamos, esto es porque las interacciones generan información nueva que no se encuentra en la información actual que podemos tener de un sistema (Gershenson, 2013a). Esto no quiere decir que los sistemas complejos sean

aleatorios. La implicación es que no hay atajos para llegar al futuro: tenemos que pasar por todos los pasos del sistema antes de que podamos decir a donde llegará. Esta propiedad se conoce como "irreducibilidad computacional" (Wolfram, 2002).

Los modelos descriptivos nos ayudan a comprender los fenómenos *a posteriori*. Complementan a los modelos predictivos precisamente por la previsibilidad limitada inherente a la complejidad.

Aunque la complejidad limita la previsibilidad de un fenómeno, los límites también dependen de la escala a la que se quiera hacer la predicción. Por ejemplo, no podemos predecir las posiciones de las moléculas de un gas, pero sí su temperatura. No podemos predecir cuándo ni dónde ocurrirá el siguiente terremoto de nueve grados Richter, pero sí sabemos qué distribución de terremotos habrá en el futuro en una región, ya que siguen la ley de Gutenberg–Richter.

6. EMERGENCIA

Uno de los conceptos que han generado mayor confusión y polémica en el estudio de la complejidad es el de emergencia. Sin embargo, considerando los conceptos que hemos presentado podemos caracterizar a la emergencia de una forma clara y sin misterio.

Una propiedad emergente es aquella que se encuentra en un sistema pero no en sus componentes. De manera más general, si observamos información a una escala que no se encuentra en una escala inferior, podemos decir que es emergente. Por ejemplo, una pieza de oro tiene conductividad, maleabilidad, color, y otras propiedades que no se encuentran en sus átomos. Una célula tiene vida, sus moléculas no. ¿De dónde sale esa información emergente? De las *interacciones*.

Tradicionalmente, la ciencia ha sido reduccionista. Esto implica que trata de explicar a los sistemas en términos de sus componentes, ignorando las interacciones. En este contexto, no se puede hablar de emergencia. Pero vemos que es necesario ir más allá del reduccionismo si queremos estudiar a los sistemas complejos.

Esto también implica que tenemos que ir más allá del materialismo. ¿Por qué? Las interacciones no son físicas. Pero son reales, en el sentido de que afectan causalmente el futuro de la materia y la energía. Tratar de describir al mundo en términos de materia y energía es muy limitado. Una alternativa está en describir al mundo en términos de información (Gershenson, 2007). Por un lado, podemos describir cualquier fenómeno en términos de información. Por otro lado, podemos buscar regularidades a distintas escalas para explorar las leyes de la información.

7. CONCLUSIONES

La complejidad está en todas partes. Si queremos interactuar de manera más adecuada con nuestro entorno, con otras personas y con nosotros mismos debemos de poder hablar claramente sobre la complejidad.

La complejidad implica un cambio de paradigma científico (Morin, 2006; Gershenson, 2013b). Necesitamos adaptarnos a un nuevo contexto. No porque el paradigma anterior esté equivocado. Es simplemente otra perspectiva que ha sido muy útil, pero que se ha visto rebasada por la complejidad inherente de los sistemas a los que ha ayudado a generar.

- GERSHENSON, CARLOS (2002). «Contextuality: A Philosophical Paradigm, with Applications to Philosophy of Cognitive Science». POCS Essay, COGS, University of Sussex, UK. <<http://cogprints.org/2621/>> [Consulta: 3 juliol 2013]
- (2007). «The world as evolving information». *Proceedings of International Conference on Complex Systems ICCS2007*. Boston, MA, USA. <http://arxiv.org/abs/0704.0304> [Consulta: 3 juliol 2013]
- (2013a). «Facing complexity: Prediction vs. adaptation». MASSIP-BONET, ÀNGELS; BASTARDAS-BOADA, ALBERT (ed.). *Complexity Perspectives on Language, Communication and Society*. Springer, 3-14. <<http://arxiv.org/abs/1112.3843>> [Consulta: 3 juliol 2013]
- (2013b). «The implications of interactions for science and philosophy». *Foundations of Science*, Early view. <<http://arxiv.org/abs/1105.2827>> [Consulta: 3 juliol 2013]
- HEYLIGHEN, FRANCIS; CILLIERS, PAUL; GERSHENSON, CARLOS (2007). «Complexity and Philosophy». BOGG, JAN; GEYER, ROBERT (ed.). *Complexity, Science and Society*. Oxford/ New York. Radcliffe Publishing, 117-134. <<http://arxiv.org/abs/cs.CC/0604072>> [Consulta: 3 juliol 2013]
- MASSIP-BONET, ÀNGELS (2013). «Language as a Complex Adaptive System: Towards an Integrative Linguistics». MASSIP-BONET, ÀNGELS; BASTARDAS-BOADA, ALBERT (ed.). *Complexity Perspectives on Language, Communication and Society*. Berlin / Heidelberg: Springer, 35-60.
- MORIN, EDGAR (2006). «Restricted complexity, general complexity». GERSHENSON, CARLOS; AERTS, DIEDERIK; EDMONDS, BRUCE (ed.). *Philosophy and Complexity, Worldviews, Science and Us*. World Scientific, 5-29. <<http://tinyurl.com/b9quxon>> [Consulta: 3 juliol 2013]
- NYDAHL, OLE (2011). *The Great Seal: Limitless Space & Joy: The Mahamudra View of Diamond Way Buddhism*. San Francisco. Firewheel Publishing.
- WITTGENSTEIN, LUDWIG (1953). *Philosophical investigations*. 4a ed. (2009). New Jersey Wiley-Blackwell.
- WOLFRAM, STEPHEN (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media. <<http://www.wolframscience.com/thebook.html>> [Consulta: 3 juliol 2013]