

¿Cuál es tu definición de sistema complejo?

La profesora Melanie Mitchell pregunta a sus colegas del SFI

Contenido

1.	David Krakauer.- University of Wisconsin y Santa Fe Institute	2
2.	Cris Moore.- Santa Fe Institute	2
3.	Jim Crutchfield.- University of California Davis y Santa Fe Institute.....	2
4.	John Rundle.- University of California Davis y Santa Fe Institute	3
5.	Scott Page.- University of Michigan y Santa Fe Institute.....	3
6.	Mark Newman.- University of Michigan y Santa Fe Institute	3
7.	Stephanie Forrest.- University of New Mexico y Santa Fe Institute	3
8.	Doyne Farmer.- Oxford University y Santa Fe institute	4
9.	Luis Bettencourt.- Santa Fe Institute	4
10.	Geoffrey West.- Santa Fe Institute	4

1. [David Krakauer](#).- University of Wisconsin y Santa Fe Institute

Mi única definición es que son sistemas que no producen formas compactas de representación o de descripción y debería explicarlo.

En los sistemas que los físicos estudian, se puede escribir a veces en una página unas lindas ecuaciones, como las leyes de Newton del movimiento o las ecuaciones de Maxwell para electromagnetismo.

No hay esas descripciones compactas, hermosas y elegantes que pueden explicar un número de fenómenos del genoma, del cerebro, de la sociedad o de la historia de la literatura científica tal y como las conocemos. Y eso, para mí, es la evidencia de que estamos tratando con sistemas complejos.

Ahora bien, ¿por qué sucede esto? La razón por la que creo que es difícil es debido a que estos sistemas poseen largas historias codificadas.

Una de las características, para mí, de un sistema complejo, es que posee un sentido o un mecanismo para extraer de su medioambiente alguna información, que utiliza para comportarse en forma adaptativa, para predecir y controlar.

Y por lo tanto, necesita ser descrito usando modelos que tienen un sabor ligeramente diferente de aquellos que han sido tradicionales en las ciencias naturales. Y típicamente esos modelos serán computacionales.

2. [Cris Moore](#).- Santa Fe Institute

En la ciencia computacional teórica no decimos que los sistemas son simples o complejos. Normalmente decimos que las preguntas son complejas si necesitan muchos recursos computacionales para resolverlas: mucho tiempo, mucha memoria, mucha comunicación entre la gente y otros recursos limitados.

Diferentes preguntas puede tener diferentes niveles de complejidad computacional. Por ejemplo, si lo que quieres saber es cómo se verá el sistema luego de t pasos de tiempo desde hoy, se puede responder la pregunta simulando el paso del tiempo, pero una pregunta interesante puede ser ¿qué ocurre si no existe un algoritmo que trabaje más rápido que ese sistema? Puede que no se pueda saltar la historia. Puede ser como un sistema dinámico caótico que no tiene soluciones, puede que no haya atajos para realizar el laborioso “paso a paso” de la simulación.

Por lo tanto, para mí es provechoso, en vez de decir si el sistema es simple o complejo, -no niego que podemos tener ideas claras sobre ello- pero encuentro más útil modificar un poco la cuestión para que me brinde un sí o un no, sobre lo que se quiere conocer cerca del sistema, o de una cantidad que se quiere calcular acerca del sistema. Entonces podemos hablar sobre cuán difícil es computacionalmente responder a esa pregunta, o calcular esa cantidad.

3. [Jim Crutchfield](#).- University of California Davis y Santa Fe Institute

Bueno, es un concepto complicado, y no digo complejo, sino complicado.

Por lo tanto esto se vincula con una discusión sobre la que tengo información, en vez de una noción precisa de lo que quiero decir cuando me refiero a un sistema natural o artificial como complejo y lo que quiero decir en particular es que tiene una arquitectura causal interna muy sofisticada que almacena y procesa información.

Por lo tanto, las cuestiones técnicas de las que hablaremos tienen que ver con como medimos la información almacenada y la cantidad de estructura.

Así, la información trata de describir como es un sistema complejo y las diferentes clases de información que procesa, almacena y cómo se asocian para organizar un sistema. Este es un concepto clave.

Por cierto la noción original de la información, la información de Shannon, entendida como el grado de sorpresa, el grado de impredecibilidad en un sistema o cuan aleatorio es un sistema necesita ampliarse. Ahí está el foco de mucho de mi trabajo, tratando de mostrar que hay diferentes clases de información, no sólo la información en el sentido de Shannon.

4. [John Rundle](#).- University of California Davis y Santa Fe Institute

Mi definición de sistema complejo es la de un sistema que tiene interacciones. Posee elementos no lineales en él. Tiendo a trabajar en sistemas de grandes dimensiones, no en sistemas de pequeñas dimensiones. Y me gusta usar los métodos de la mecánica estadística de la física, para entender los problemas de esos sistemas. La mayor parte del tiempo, los hechos interesantes de estos sistemas es que tienen propiedades de escala, tienen ley de potencia, u objetos fractales dentro de ellos, incrustados, tanto en el arreglo físico interno como en términos de la estadísticas que se observa en ellos.

5. [Scott Page](#).- University of Michigan y Santa Fe Institute

Mi definición básica es que un sistema complejo consiste en un manojo de entidades, (agentes) que pueden comenzar no siendo diversas, pero que terminan siéndolo.

Están conectadas de algún modo, generalmente a través de una estructura de red, o alguna estructura espacial y que obtienen información a través de esa red o de la estructura local, pero a veces obtienen algunas señales globales, que pueden ser, por ejemplo, precios en un mercado o la temperatura de un sistema, por lo tanto además de ser diversos e interconectados, son también interdependientes, entonces las acciones de un agente en el sistema tendrá alguna clase de influencia sobre otro agente.

Así es en el contexto de un sistema social, como en el económico: si voy a la panadería y compro pan, tanto da si compro pan integral o pan blanco, realmente no tiene importancia en el contexto. No hay una interdependencia fuerte, salvo en los precios. Pero si decido ir muy rápido con mi auto por una carretera, entonces puedo afectar al resto en forma notable: hay interdependencia.

Y la última cosa para agregar a esta conducta interdependiente y a las redes de los diversos agentes, es que el agente se adapta y responde al entorno en el que se encuentra. No es solo el caso de que sigan reglas simples, sino que traten de adaptarse.

Esta última parte es un poco tramposa, filosóficamente hablando, porque la adaptación es una regla de un orden alto, (una metaregla), de tal forma que se puede haber reglas de nivel básico y reglas derivadas de un conjunto de reglas básicas, una metaregla. Por tanto la conducta está guiada por ambos tipos, reglas básicas y metareglas, pero hay una clase de metareglas que les permite comportarse de manera tal que responden a las señales que obtienen, tanto locales como globales.

La última cosa que quiero mencionar es otra clase de paradoja en la definición de un sistema adaptativo complejo y es que es un sistema que pudiera ser complejo, no necesariamente lo es. Esto ocurre cuando un sistema puede tener esos componentes, pero puede producir un equilibrio. Si miro, específicamente, al sistema económico, algunas partes del sistema económico se equilibran, pero otras terminan siendo complejas. Si se mira el consumo de petróleo a nivel global, el sistema es predecible, muestra un patrón estable. Pero si se mira al precio del petróleo a través del tiempo, el sistema es complejo porque hay mucha más interdependencia y todas esas cosas entran en juego.

John Holland y yo, a veces bromeamos y decimos que aquellos sistemas son capaces de producir complejidad. Bueno no suena muy importante.

6. [Mark Newman](#).- University of Michigan y Santa Fe Institute

Bien, esa es una pregunta acerca de la cual se ha debatido bastante. Creo que la mayoría de la gente acordaría con que un sistema complejo, es un sistema con muchas partes que interactúan donde el sistema es más que la suma de sus partes. es decir, muestra conducta emergente, la cual es más que la suma de sus conductas individuales. Otra gente agrega elementos extra, pero esa es mi definición. Es un sistema de partes interactuantes que muestran conductas emergentes. Bien, eso es bastante sencillo, desarrollarlo lleva un poco más de tiempo.

7. [Stephanie Forrest](#).- University of New Mexico y Santa Fe Institute

Te voy a dar una definición de sistema complejo, pero debo recordarte que muchos conceptos importantes como la virtud o la vida, son muy difíciles de definir y creo que los sistemas complejos, de algún modo, entran en esa categoría.

La clase de sistemas que llamo complejos tienen componentes activos e interactivos y la interacción entre esos componentes son no lineales (y no triviales) y eso lleva a que el sistema posea una conducta no predecible. Puede que hayas escuchado esas cuestiones antes, pero lo importante, es que esos componentes o bien están aprendiendo o modificando sus conductas de algún modo, mientras el sistema sigue su proceso. Y eso nos lleva a un montón de dinámicas interesantes.

Eso es lo que pienso, cuando observo un sistema complejo: ¿es la adaptación esencial para una conducta compleja?, bueno, es esencial para el tipo de conducta compleja que a mí me interesa.

8. [Doyne Farmer](#).- Oxfort University y Santa Fe institute

Yo creo que mi definición es, probablemente, como la de otra gente, un sistema complejo es algo con un conjunto de partes interactuando en donde hay algo cualitativamente diferente en la forma en que interactúan juntos, que es distinta de la forma en que se comportan si se los observa individualmente. Es algo que tiene que ver con los fenómenos emergentes.

Y creo que podemos objetar qué es lo que esas palabras quieren decir, por ejemplo, puedo querer decir algo diferente de lo que dice otra gente, pero no creo que tenga algo particular y único en mi definición.

9. [Luis Bettencourt](#).- Santa Fe Institute

Los sistemas complejos tienden a ser cosas que son diferentes de los sistemas físicos simples, ya que tienden a ser heterogéneos, tienden a estar compuestos de partes que no son la misma clase de partes. Por ejemplo, la gente y las empresas en una ciudad son claramente diferentes. No son lo mismo. Tienden a ser sistemas abiertos, al menos algunos de ellos. Así una ciudad o un ecosistema pueden evolucionar.

A veces las cosas que los hacen difíciles de estudiar en términos predictivos, son, que típicamente poseen cadenas causales, mecanismos que hacen que las cosas pasen pero en forma circular y así tenemos retroalimentaciones tanto positivas como negativas, que hacen que sean más difíciles de estudiar que en un sistema físico simple donde podemos lidiar con ellos debido a que son simples, lineales y que responden de tal forma, que podemos caracterizar.

Estas cosas son parte de una definición operativa de lo que puede ser un sistema complejo. Pero están lejos de decir lo típicamente es un sistema complejo: desde ecosistemas a organismos, de ciudades a cerebros.

10. [Geoffrey West](#).- Santa Fe Institute

Un sistema complejo es aquel que contiene un enorme número de actores o agentes que interactúan, generalmente en una forma no lineal, y del que evolucionan toda clase de conductas en múltiples niveles.

Tenemos entonces estos fenómenos emergentes, que son una parte crítica de un sistema complejo, y que lo distingue de lo que podemos llamar un sistema simple, como el movimiento de los planetas alrededor del sol. Esto implica que uno no puede encapsular la dinámica en un par de ecuaciones simples. Y creo que ésta es una de las diferencias cruciales entre ellos y los sistemas tradicionales con los que he trabajado durante la mayor parte de mi carrera dentro del ámbito de la física