

Complejidad: varias preguntas bajo una palabra

IDE-016 · Ideas fundamentales

Ensayos conceptuales para El universo y sus observadores

Autor: Juan Segurola

Versión: v0.5 ES · 19 de septiembre de 2026

Estado: Versión de publicación

Forma del artículo: Ensayo conceptual

Escala / contexto: Cadenas, algoritmos, redes y ecosistemas

Límite: La complejidad como familia de medidas y qué mide cada una. La organización colectiva novedosa corresponde a IDE-007; los límites al conocimiento y la predicción corresponden a IDE-017

Trabajos relacionados: IDE-017, IDE-007, IDE-006

Perfil epistémico: Conocimiento establecido con límites interpretativos

Licencia en publicación: Todos los derechos reservados

Resumen del artículo

No existe una única magnitud llamada complejidad. Hay decenas de medidas y responden preguntas distintas: cuán larga debe ser una descripción, cuánto cómputo cuesta una respuesta, cuánta historia codifica una estructura, con qué fuerza dependen las partes unas de otras.[1] Y se separan de maneras que importan. Una cadena aleatoria es máximamente incompresible y no tiene ninguna organización, así que la longitud de descripción mide aleatoriedad y no estructura, y cualquier medida que alcance su máximo en el ruido está midiendo lo que no es para casi cualquier propósito.[2,4] Este artículo separa las familias principales, muestra por qué la medida debe elegirse con la pregunta, y cierra con un resultado que invirtió una intuición: añadir conexiones a un sistema grande puede volverlo menos estable, no más.[5]

En 60 segundos

Pregunta qué hace complejo a algo y obtendrás varias respuestas incompatibles, todas defendibles. La incompresibilidad algorítmica caracteriza la aleatoriedad; la profundidad lógica distingue por separado los objetos aleatorios o simples y someros de los objetos con historias computacionales profundas.[2] La complejidad computacional no pregunta cuán larga es la descripción sino cuánto trabajo cuesta la respuesta al crecer el problema, y la clasificación de problemas por ese coste alberga la pregunta abierta más difícil del campo.[3] La profundidad lógica pregunta una tercera cosa: cuánto cómputo haría falta para generar el objeto desde su descripción más corta, alta para estructuras que exigieron un proceso largo y baja tanto para cristales como para ruido.[4] La complejidad efectiva separa la parte regular de una descripción de su parte aleatoria y mide solo la primera.[6] Cada una es una magnitud real; ninguna es la complejidad, y usar una donde se quiere otra es la fuente habitual de confusión.

Por qué importa esta pregunta

Se invoca la complejidad para explicar por qué algo es difícil de predecir, difícil de construir o resistente a una descripción simple, y esas son propiedades distintas que pueden darse por separado. Una proteína y una baraja barajada no son complejas en el mismo sentido, y afirmar que un sistema es demasiado complejo para modelarlo está vacío mientras no se diga qué medida es grande y por qué eso bloquea la inferencia que se intenta. La palabra arrastra además una implicación falsa que ha hecho daño real en ecología y en diseño de sistemas: que más partes y más conexiones compran robustez.

1. Ningún escalar único

La lista de medidas de Lloyd se titula deliberadamente no exhaustiva, y su interés es estructural y no enciclopédico. Las medidas se agrupan en torno a tres preguntas: cuán difícil es describir algo, cuán difícil es crearlo y en qué grado está organizado.[1] Son preguntas distintas, y ningún argumento muestra que deban tener una respuesta común.

Esto importa porque las afirmaciones sobre complejidad suelen colar una comparación. Decir que una célula es más compleja que un cristal es defendible bajo casi cualquier medida; decir que un ecosistema es más complejo que otro suele exigir nombrar la medida antes de significar algo. Inferencia: una afirmación sobre complejidad está incompleta si no identifica la medida utilizada.

La exigencia práctica es por tanto modesta y rara vez se cumple. Enuncia qué magnitud se afirma grande, sobre qué descripción del sistema y por qué esa magnitud es la relevante para la conclusión que se extrae. Casi todos los usos de la palabra fallan ya en la primera cláusula.

En qué punto estamos

Las medidas de complejidad forman familias distintas organizadas en torno a preguntas diferentes, entre ellas la dificultad de descripción, la dificultad de creación y el grado de organización.[1] La primera familia, la longitud de descripción, tiene una versión formal cuyo comportamiento resulta instructivo y al principio sorprendente.

2. La longitud de descripción y su trampa

Kolmogorov definió la complejidad de una cadena como la longitud del programa más corto que la produce en una máquina universal, lo que precisa la idea de que un objeto regular tiene una especificación corta.[2] Una cadena de un millón de ceros se comprime a una instrucción breve; una cadena sin patrón aprovechable, no.

La definición tiene dos propiedades conocidas que condicionan todo lo construido sobre ella. Depende de la máquina universal elegida, aunque solo hasta una constante aditiva, así que comparar cadenas largas tiene sentido y comparar cortas no.[2] Y no es computable: ningún procedimiento general halla el programa más corto, de modo que la magnitud es una referencia teórica y no algo que se mida.[7]

La imprevisibilidad algorítmica caracteriza la aleatoriedad; la profundidad lógica distingue por separado los objetos aleatorios o simples y someros de los objetos con historias computacionales profundas.[2,4,6]

En qué punto estamos

La incompresibilidad algorítmica caracteriza la aleatoriedad; la profundidad lógica distingue por separado los objetos aleatorios o simples y someros de los objetos con historias computacionales profundas. Es además incomputable y dependiente de la máquina salvo una constante. Las medidas que evitan alcanzar su máximo en el ruido tienen que preguntar por algo distinto de la longitud de una descripción.

3. Esfuerzo e historia, no solo longitud

La complejidad computacional pregunta cómo crecen los recursos necesarios para resolver un problema con su tamaño. El resultado de Cook de 1971 identificó una clase de problemas a la que puede reducirse todo problema de una familia amplia, lo que permitió hablar de los problemas más difíciles de esa familia y no de casos difíciles sueltos.[3] Si esa familia admite solución eficiente es la pregunta abierta central del campo.

La profundidad lógica de Bennett pregunta otra cosa: cuánto cómputo hace falta para producir el objeto desde su descripción más corta.[4] Un cristal es superficial porque un programa breve lo produce deprisa; el ruido aleatorio es superficial porque el programa más corto es la propia cadena, impresa de inmediato. Profundo es un objeto cuya descripción breve existe pero exige un cómputo largo para desplegarse, imagen formal razonable de algo que necesitó una historia larga.

La complejidad efectiva de Gell-Mann y Lloyd toma la vía complementaria. Separa una descripción en la parte que captura regularidades y la parte que es detalle incompresible, y mide solo la parte regular.[6] El ruido puntúa entonces bajo porque casi toda su descripción es la componente aleatoria, que es el comportamiento que exige la noción intuitiva.

En qué punto estamos

La complejidad computacional mide el coste de una respuesta, la profundidad lógica el cómputo necesario para desplegar una descripción corta, y la complejidad efectiva solo la parte regular de una descripción. Cada una esquivando otro modo la trampa del ruido. Las tres, sin embargo, son relativas a cómo se describió el objeto de partida.

4. Complejidad ¿de qué, exactamente?

Las medidas de complejidad incluyen tipos basados en la descripción y tipos computacionales o generativos; la complejidad efectiva depende específicamente de qué regularidades se identifiquen.[1,6] Un gas se describe trivialmente con dos variables termodinámicas y resulta imposiblemente complicado como lista de posiciones moleculares, y ambas descripciones son del mismo gas.

La disciplina es la misma que en el resto de la serie. Nombra la descripción, nombra la medida y comprueba que la conclusión depende de la magnitud realmente calculada.

En qué punto estamos

Las medidas de complejidad incluyen tipos basados en la descripción y tipos computacionales o generativos; la complejidad efectiva depende específicamente de qué regularidades se identifiquen.[1,6] Eso afecta a una creencia extendida sobre qué compra la complejidad.

5. Más partes no es más robusto

Fue durante un tiempo supuesto de trabajo en ecología que las comunidades más diversas y más conectadas son más estables. May analizó comunidades modelo ensambladas al azar y encontró la tendencia contraria: al aumentar el número de especies, la conectancia y la intensidad de interacción, la probabilidad de que el equilibrio sea localmente estable cae con fuerza.[5]

El resultado trata de una clase concreta de modelos, matrices de interacción construidas al azar, y de la estabilidad local en un equilibrio, y May fue explícito al respecto. Su fuerza no está en que los ecosistemas reales sean inestables sino en que la estabilidad no puede inferirse solo de la complejidad: lo que estabiliza las comunidades reales tiene que ser un rasgo de cómo están estructuradas y no de cuántas partes tienen.

La lección general se transfiere. Añadir componentes y acoplamientos a cualquier sistema agranda el espacio de maneras en que puede fallar, y la robustez viene de la arquitectura y no del recuento. Es la misma conclusión que llega desde el lado de la realimentación, donde la estabilidad depende de la disposición de ganancias y retardos y no del número de lazos.

En qué punto estamos

May mostró que en comunidades modelo ensambladas al azar un mayor tamaño, conectancia e intensidad de interacción reducen la probabilidad de estabilidad local, así que la complejidad no compra robustez y lo que estabiliza los sistemas reales es estructural. El resultado está acotado a su clase de modelos, y eso forma parte de leerlo bien. IDE-017 recoge la familia de límites que suele achacarse a la complejidad: la incertidumbre y sus fuentes.

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- Las medidas de complejidad forman familias distintas organizadas en torno a preguntas diferentes, entre ellas la dificultad de descripción, la dificultad de creación y el grado de organización.[1]
- La complejidad de Kolmogórov es la longitud del programa más corto que produce una cadena, depende de la máquina solo hasta una constante aditiva y es incomputable; la incompresibilidad algorítmica caracteriza la aleatoriedad.[2,7]
- La profundidad lógica mide el cómputo necesario para generar un objeto desde su descripción más corta y es baja tanto para cristales como para ruido; la complejidad efectiva mide solo la parte regular de una descripción.[4,6]
- En comunidades modelo ensambladas al azar, aumentar el número de especies, la conectancia y la intensidad de interacción reduce la probabilidad de estabilidad local, así que la complejidad no confiere robustez por sí misma.[5]

Lo que todavía no sabemos

- Si la familia amplia de problemas identificada por la reducción de Cook admite solución eficiente, pregunta abierta central de la complejidad computacional.[3]
- Qué medida de complejidad, si alguna, sigue la noción intuitiva de estructura organizada a través de sistemas físicos, biológicos y sociales y no solo dentro de un dominio.
- Hasta dónde se extiende el resultado de estabilidad de May a estructuras de interacción no ensambladas al azar, que es donde viven las redes ecológicas y de ingeniería reales.

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- Una demostración que resolviera si la familia de problemas identificada por Cook admite solución eficiente zanjaría la pregunta central del campo y reorganizaría la clasificación de la dificultad computacional.[3]
- Una medida computable que asignara valores bajos tanto a cadenas aleatorias como perfectamente regulares, valores altos a la estructura organizada, y coincidiera con la profundidad lógica y la complejidad efectiva donde estas son calculables, sustituiría la pluralidad actual de medidas.[1,4,6]
- Evidencia empírica de que las comunidades ecológicas con mayor conectancia son sistemáticamente más estables ante perturbaciones comparables, controlada la estructura de interacción, obligaría a revisar cómo se generaliza el resultado de May.[5]

Si solo recuerdas una cosa

La complejidad comprende familias distintas de medidas relativas a descripción, creación y organización.[1,6]

Artículos relacionados

- IDE-017 — Incertidumbre
- IDE-007 — Emergencia
- IDE-006 — Escala

Referencias

- [1] Seth Lloyd. Measures of Complexity: A Nonexhaustive List. IEEE Control Systems Magazine 21(4), 7-8 (2001). DOI 10.1109/37.969131.
- [2] A. N. Kolmogorov. Three Approaches to the Quantitative Definition of Information. Problems of Information Transmission 1(1), 1-7 (1965).
- [3] Stephen A. Cook. The Complexity of Theorem-Proving Procedures. Proceedings of the Third Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 151-158 (1971). DOI 10.1145/800157.805047.
- [4] Charles H. Bennett. Logical Depth and Physical Complexity. In: Rolf Herken (ed.), The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey, Oxford University Press, 227-257 (1988).
- [5] Robert M. May. Will a Large Complex System be Stable? Nature 238, 413-414 (1972). DOI 10.1038/238413a0.
- [6] Murray Gell-Mann; Seth Lloyd. Information Measures, Effective Complexity, and Total Information. Complexity 2(1), 44-52 (1996).
- [7] Ming Li; Paul Vitányi. An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications, 4th edition. Springer (2019), chapter 2.