

# Niveles y redes de complejidad como aproximación al estudio de la epistemología de las ciencias biológicas

Germán Isauro **Garrido Fariña**

La ciencia ha sido conformada por la reunión de conceptos agrupados en una gran cantidad y diversidad de redes de complejidad; estas redes están formadas a su vez, por diferentes niveles de complejidad que debemos entender enlazados en otras redes complejas que pueden estar unidas por cualquier sitio, sin respetar tiempo y espacio, pero que pueden relacionarse con cualquier otra red. Esta relación aparentemente compleja se simplifica si pensamos la red fuera del concepto de sistema aun cuando cuenta con elementos y relaciones que la estructuran racionalmente (Reynoso, 2008). El progreso en la ciencia está vinculado a condiciones sociales que permiten la reunión de científicos para establecer comunidades científicas con los mismos intereses y habilidades complementarias; de esta forma se han creado diferentes lenguajes, dependiendo del área de conocimiento, muy particulares y comunes para cada claustro académico. Conforme los niveles de complejidad aumentan dentro de estas comunidades científicas, la especialización de cada área de conocimiento que interviene aumenta, provocando que los actores de esta red tengan la necesidad de que sus habilidades complementarias aumenten y sean de una gran especialización.

Algunas de las primeras evidencias de intercambio de ideas y de comunicación científica son las concertadas entre Tycho Brahe, Galileo y Kepler; Descartes, Gassendi, Fermat, Roberval y Pascal (Hall, 1985); Regnier de Graaf, Robert Hooke, Jan Swammerdam, William Davidson y Christiaan Huygens (Davis, 2020). Estas redes, entendidas como lo explica Ponce-Leyva (2008), permiten a través del análisis de sus elementos convertirse en un instrumento analítico. Además, fueron el inicio de la necesidad de la comunicación escrita entre pares, y provocaron de forma natural la publicación científica.

Kuhn (1971) explica que los términos, conceptos y experimentos que llevan a la construcción de un paradigma nuevo, tienen diferentes formas para relacionarse entre ellos y aunque no lo propone explícitamente, infiere la importancia de las comunidades que forman los científicos; esta es una red social simple, una red de complejidad básica. La red, que nace de forma natural entre los humanos que se dedican a la ciencia (Reynoso, 2008), permitió la formación de redes de conocimiento en las que los actores cultivaron, en muchos casos como pasatiempo, una o más ciencias, lo que les facilitó la generación de nuevos paradigmas (Kuhn, 1971).

Estos paradigmas se han hecho cada vez más complejos conforme se integran, en su creación, un mayor número de niveles y de redes de complejidad. La complejidad de estas redes de conocimiento tiene relación directa con la relación que guardan entre sí los diferentes niveles de complejidad de un concepto. Las redes creadas se relacionan de forma diferente con otras construcciones de complejidad, por lo que el número de redes de complejidad que se puede formar es inmenso, así como la cantidad de combinaciones para explicar una idea puede ser infinita.

#### **NIVEL DE COMPLEJIDAD**

Los niveles de complejidad en las ciencias forman un sinnúmero de redes de complejidad. La conformación más simple de una red ocurre cuando una

idea se desarrolla mediante la relación dialéctica de los conceptos necesarios de dos ciencias o más. En las revoluciones o crisis científicas que se han presentado a lo largo de la historia, particularmente en las que se ha tratado de entender mejor su origen y desarrollo, hablamos de química, física y matemáticas, y tenemos los elementos para imaginar a cada una de estas disciplinas como una red independiente; cada una de ellas construye niveles de complejidad propios que, al pasar al siguiente nivel de complejidad, requiere de una red más compleja, con una mayor cantidad de puntos o nodos de interacción. Podemos hacer la analogía con una red de complejidad creada a partir de niveles de complejidad que van desde la anatomía, la histología y la biología celular, hasta la biología molecular.

Conforme se avanzó en el conocimiento de la anatomía a la biología molecular, la red de complejidad conformada por múltiples niveles de complejidad se hizo más intrincada por la necesidad de integrar nuevos conocimientos e ideas para encontrar la solución a problemas que se intentaba resolver. De esta manera es posible comparar el desarrollo de una idea a lo largo y ancho de la red de complejidad, desde el punto de vista teórico o histórico.

Las ciencias se entienden a través de niveles de complejidad que a su vez generan redes de complejidad extensas, lo que forma finalmente una idea. La idea de átomo, de proteína o neurona son ejemplos en los que se puede ver claramente el desarrollo puntual o nodal, como referencia inicial en el espacio, con origen en un concepto primigenio en el primer nivel de complejidad.

En ciencias morfológicas se estudian los niveles de organización biológica desde diferentes aproximaciones, esto supone la necesidad de conocer y relacionar una gran cantidad de ideas y elementos conceptuales que generan y pertenecen a cada una de estas esferas de conocimiento (Becerril, 2001).

Pensemos en la idea de neurona: para nosotros es una idea clara que se desarrolló a lo largo de una línea de estructuración bien definida, y si utilizamos los niveles de complejidad para ubicar su desarrollo como idea podremos generar una o varias redes de complejidad.



© Germán Montalvo. *El estanquillo de Max Bill.*

El primer nivel de complejidad correspondería al pensamiento anatómico hipocrático en que solo se tenía conciencia de la intervención de estructuras específicas del sistema nervioso dentro de la sensibilidad física a través de los sentidos y, de forma muy marginal, en el comportamiento.

El segundo nivel de complejidad se inicia con el advenimiento de las técnicas e instrumentos que facilitaron la observación y descripción de lo microscópico, lo que permitió reunir los conceptos e ideas para conformar una sucesión lineal entre el conocimiento histológico y el anatómico previo, surgiendo la teoría neuronal de Ramón y Cajal.

El tercer nivel de complejidad inicia con la explicación de los mecanismos que permiten la función, presentando a la sinapsis como idea; aquí, el área de conocimiento insignia y que aglutina a los conceptos anteriores es la biología celular, la cual utiliza diferentes ciencias para estructurar su marco teórico. Para entender a la biología celular se reúnen las diferentes sucesiones lineales creadas en bioquímica, termodinámica, matemáticas, fisiología, entre otras; cada una de estas disciplinas

participa con su propia sucesión lineal, que apoya a la creación de la biología celular, reuniéndose finalmente una red de complejidad estructurada de forma única.

Quizá la mejor analogía con los niveles de complejidad es la estructuración proteica, en la que cada aminoácido es la unidad conformacional mínima que representa un nodo o una idea. El segundo nivel de complejidad es la reunión de aminoácidos mediante el enlace peptídico para crear una línea de estructuración primaria. El tercer nivel de complejidad se crea durante el plegamiento de la estructura lineal, y el cuarto se puede representar cuando varias estructuras proteicas globulares se reúnen para conformar una unidad morfofuncional, por ejemplo, en un canal de la membrana celular.

#### **AGREGACIÓN DE LOS NIVELES DE COMPLEJIDAD DENTRO DE UNA RED DE COMPLEJIDAD**

En histología, como asignatura representante del conocimiento microscópico, se pueden delimitar varios niveles de complejidad para cada uno de los conceptos que forman el conocimiento teórico-práctico de esta asignatura.

En su lado práctico podemos reconocer diferentes áreas de conocimiento: la observación de las muestras mediante la microscopía apoyada por la óptica, el procesamiento de muestras apoyado por la mecánica, y las técnicas de coloración apoyadas por la química. Cada una de estas tres ha creado una línea evolutiva con diferentes niveles de complejidad química, mecánica y óptica; esta última conforma una red de complejidad que inició al mismo tiempo que las civilizaciones más antiguas.

Analizaremos el desarrollo que ha tenido el concepto de lente, iniciando con su uso como objeto decorativo-utilitario, hasta su uso como pieza especializada dentro de los microscopios ópticos. El tallado de diferentes materiales facetados en Egipto se ha datado alrededor de 4,500 años a. n. e., principalmente con fines funerarios y para adornar estatuas con ojos realistas.



© Germán Montalvo. *Tablas de color y cielo.*

La civilización minoica creó lentes de aumento en 1,500 a. n. e.; una de las primeras referencias históricas se podría datar entre el 750 y 710 a. n. e., el lente de Nimrud, una pieza tallada en cristal de roca, con caras plano convexas, de forma ligeramente ovalada y descubierta en 1850 por John Layard. Sus implicaciones son extensas y se ha especulado con varias teorías: formó parte de un telescopio, se usó como lente de aumento simple o como proyector de la luz solar para encender fuego. Lo que sí es claro, es que su objetivo fue crear un lente rudimentario, con un uso desconocido para nosotros (Layard, 1853). El artesano tallador o quien pagó por su fabricación, ¿lo utilizó para observar material biológico? No lo sabremos nunca.

Dentro del mundo griego, Empédocles (495 a. n. e.) menciona el concepto de campo visual. El uso decorativo de las lentes inicia alrededor del 400 a. n. e.;

Aristófanes construyó en el año 424 a. n. e. el primer dispositivo para la concentración de la luz solar con un globo o ampolla de vidrio soplado, lleno de agua. Pero es quizá Arquímedes quien usa por primera vez un lente de aumento como monóculo.

Posteriormente, Séneca el Joven refiere que, durante el Imperio Romano, alrededor del año 20, se fabricaban esferas de vidrio aprovechando el conocimiento sirio del soplado de vidrio, esferas que al contener agua se podían usar como lentes de aumento. También se tiene referencias del uso de piedras preciosas pulidas y engarzadas para corregir la miopía (Quesnel, 1971).

En el siglo IX, Abbas Ibn Firnas, un filósofo de la Andalucía islámica, desarrolló la técnica para tallar el cristal de roca y crear lentes para lectura, que también eran usados para iniciar fuego.

Al-Haitham (965-1039), conocido en Occidente como Alhazen, escribe alrededor de 1011 su libro de óptica; contribuyó con una gran cantidad de

teorías y conceptos e influyó poderosamente en los científicos de la Alta Edad Media y en los del Renacimiento y es reconocido como el padre de la óptica moderna (Tbakhi, 2007).

Hacia la mitad del siglo XIII, dos monjes franciscanos, Roger Bacon y Alejandro de Espina, propusieron la forma en que lentes talladas debían ser colocadas en un armazón metálico o de madera (Hall, 1985).

El inglés Thomas Harriot fue el primero en observar el firmamento con un telescopio casi un año antes que Galileo, que sí publicó sus observaciones; a principios de 1624; Galileo pudo observar un insecto con un microscopio diseñado a partir de un telescopio modificado (Hall, 1985).

Y mientras algunos observaban hacia el cosmos, otros lo hacían hacia lo microscópico. Las lentes de aumento, los instrumentos para magnificar la imagen y los microscopios compuestos de Janssen (1590), si bien aumentaron el poder de resolución, en un principio no fueron más que juguetes, por lo que las primeras observaciones de Malpighi (1661) (Ball, 1966), Hooke (1665) (Singer, 1914) y Leeuwenhoek (1675) (Davis, 2020), entre otros, solo sirvieron como instrumentos cualitativos.

Solo fue hasta que William Gascoigne, en 1638, inventó el micrómetro, que se pudo medir con un aparato de forma muy precisa. El micrómetro se aplicó inicialmente en la astronomía y de forma extensiva en la metalurgia. Cuando se adoptó en 1879 la micra ( $\mu\text{m}$ ) como unidad de medida para objetos muy lejanos o muy pequeños, influyó poderosamente al ser aplicada tanto en microscopios como en microtomos, de dos formas diferentes: mejorando la precisión y aumentando la calidad; esto permitió tener la capacidad de procesar muestras de un tamaño conocido e inició la era de los aparatos cuantitativos para hacer mediciones mientras se observaba (Kuhn, 1971); Philippe de La Hire, en 1700, propone una retícula como referencia para medir.

En 1811, Joseph von Fraunhofer presenta el vidrio para instrumentos ópticos que puede corregir la aberración cromática, y aunque al principio solo se usó en lentes oculares de telescopios, pronto se usaría en microscopía; también desarrolló el micrómetro filar, el de anillo y el de rejilla.

Joseph Jackson Lister, padre de Joseph Lister el microbiólogo, inventó en 1826 los objetivos acromático y aplanático para microscopía, lo que condujo a los pasos posteriores para construir el microscopio compuesto moderno.

En sus primeros experimentos Ernst Karl Abbe utilizó un micrómetro con dos series de rayas, unas finas y otras anchas, dos pinceles dióptricos centrales incoloros y dos líneas de máximo de difracción, para demostrar su teoría sobre los fenómenos de difracción (Ramón y Cajal, 1955).

La casa Carl Zeiss presenta, en 1857, el primer microscopio compuesto verdadero, con lentes oculares y lentes objetivos; posteriormente, en 1872, Abbe dictó las leyes de la formación de la imagen en microscopía, inventó el lente apocromático para inmersión en aceite (1886) y el condensador de Abbe (1870), lo que permitió que, en sociedad con Zeiss, se pudiera acceder al máximo poder de resolución de los microscopios hasta ese momento: 2 micras (Kapitza, 1997; Quesnel, 1971).

La siguiente frontera se alcanzó cuando Max Knoll y Ernst Ruska desarrollaron el microscopio electrónico de transmisión en 1931, y posteriormente Knoll, en 1935, propuso el sistema de barrido. Al llegar a este momento en la historia de la fabricación de lentes en óptica y microscopía, se puede observar que la red de complejidad aumenta en cada paso que se avanza en el nivel de complejidad, las redes que se generan entre los científicos, su lenguaje y las ciencias que intervienen en su desarrollo.

## CONCLUSIÓN

Los niveles de complejidad se relacionan estrechamente con los instrumentos científicos, y en cada paso de una revolución científica, los niveles de complejidad discurren de forma paralela; por ejemplo, en histología se fueron desarrollando en el corte de muestras, aplicación de colorantes y la observación mediante el microscopio. La histología es una ciencia que depende de una construcción paralela de conocimiento técnico y teórico; el nivel





© Germán Montalvo. *Salvavidas de colores.*

de complejidad que se desarrolla a través de los instrumentos científicos es tan importante como el que se desarrolla en la creación de un lenguaje propio, esta red compleja de conocimiento permite la comprensión epistemológica de la histología como ciencia morfológica.

Evidenciar los niveles de complejidad en la evolución de un concepto e integrarlos dentro de una red de complejidad es una herramienta sumamente dúctil para entender la epistemología de cualquier área del conocimiento en la ciencia moderna.

## R E F E R E N C I A S

- Ball CS (1966). The early history of the compound microscope. *Bios*, 37(2):51-60.
- Becerril-Montes A (2001). "¿Enseñar biología molecular?", en Uribe Aranzábal MC y García Lorenzana M (Ed.), *Nuevos retos de la docencia y la investigación en histología*. Sociedad Mexicana de Histología (pp. 55-64). Ciudad de México: S y G. Editores.
- Davis Ian M (2020) Antoni van Leeuwenhoek and measuring the invisible: The context of 16th and 17th century micrometry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 83:75-85.
- Hall A Rupert (1985). *La revolución científica 1500-1750*. Barcelona España: Editorial Crítica.
- Kapitza HG (1997). *Microscopy from the very beginning*. Jena GmbH: Carl Zeiss.
- Kuhn TS (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- Layard AH (1853). *Nineveh and its remains: with an account of a visit to the Chaldean Christians of Kurdistan, and the Yezidis, or devil worshippers; and an inquiry into the manners and arts of the ancient Assyrians*, 2 vol. New York: G. P. Putnam and Co.
- Quesnel LB (1971). Microscopy and micrometry. En Norris JR y Ribbons DW (Ed.), *Methods in Microbiology* (pp. 1-103) Londres: Academic Press.
- Ramón y Cajal S y Tello y Muñoz J (1955). *Histología normal y de técnica micrográfica*. 20ª ed., México: Editorial nacional.
- Singer C (1914). Notes on the Early History of Microscopy. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 7 (Sect\_Hist\_Med):247-279.
- Tbakhi A y Amr SS (2007). Ibn Al-Haytham: father of modern optics. *Annals of Saudi medicine* 27, 6:464-467.
- Reynoso C (2008). Hacia la complejidad por la vía de las redes. Nuevas lecciones epistemológicas. *Desacatos* 28, septiembre-diciembre:17-40.
- Ponce Leiva P y Arrigo A (2008). Redes sociales y ejercicio del poder en la América Hispana: consideraciones teóricas y propuestas de análisis. *Revista Complutense de Historia de América* 34:15-42.

**Germán Isauro Garrido Fariña**  
[isaurogafa@yahoo.com.mx](mailto:isaurogafa@yahoo.com.mx)  
**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**  
**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Estado de México**