

El conectoma avanza, pero el cerebro sigue siendo un sistema inabarcable

21.8.2026 - Comunicación - IIS Aragón | Instituto de Investigación Sanitaria Aragón

La neurociencia está empezando a reconstruir el cerebro como una red completa de conexiones, avanzando desde organismos muy simples como la mosca de la fruta hasta mamíferos como el ratón. Sin embargo, a medida que el mapa crece, también aumenta la evidencia de que entender su funcionamiento exige mucho más que dibujarlo.

Desde hace un par de décadas, distintos investigadores han intentado reconstruir y comprender cómo se organiza en su totalidad el sistema nervioso de un ser vivo. En 2005 se acuñó el concepto de 'conectoma' -propuesto por el **neurocientífico Olaf Sporns** junto a sus colaboradores- para referirse al mapa completo de conexiones entre neuronas, algo así como el plano de cableado que muestra cómo está estructurado el cerebro por dentro.

El primer gran hito en este campo fue establecer el conectoma completo de organismos simples, como el gusano *C. elegans*, que ya había sido mapeado parcialmente en los años 80 y posteriormente refinado. Este tan solo tiene unas 302 neuronas y unas 7 000 sinapsis.

Sin embargo, el verdadero salto de escala llegó con insectos como la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). Por primera vez, fue posible reconstruir un sistema nervioso completo a escala de neuronas individuales en un organismo con comportamientos complejos.

Su cerebro, con alrededor de 130 000 neuronas y unos 50 millones de sinapsis, ocupa un punto intermedio especialmente valioso, ya que es lo bastante sencillo como para ser abordable con la tecnología actual, pero lo suficientemente sofisticado como para generar conductas ricas y bien definidas.

Además, su comportamiento está muy **bien documentado en laboratorio**, lo que permite comparar con precisión lo que hace una mosca real frente a una simulación basada en ese mapa de conexiones.

En los últimos años, el proyecto [FlyWire](#) ha publicado una reconstrucción prácticamente completa del conectoma del cerebro adulto de esta especie. Esto ha permitido pasar de estudiar neuronas o regiones concretas, a empezar a entender el sistema como una red global de circuitos.

A partir de ahí, lo que han hecho algunos grupos —como **Eon Systems** en sus experimentos recientes— es ir un paso más allá, convirtiendo esas conexiones neuronales en un sistema dinámico capaz de “ejecutarse” en un ordenador.

El resultado de este enfoque, según la empresa, es que al [acoplar ese cerebro simulado a un cuerpo virtual](#) y dejarlo interactuar con un entorno físico, podrían emerger comportamientos básicos del insecto. La arquitectura de la red, al activarse, podría generar respuestas que se asemejan a conductas reales, como moverse, reaccionar a estímulos o realizar acciones simples.

Las conexiones no son suficientes

Entre las voces más críticas con las afirmaciones sobre una posible emulación funcional del cerebro a partir de conectomas se encuentra **Ken Hayworth**, presidente de la Brain Preservation Foundation y uno de los principales defensores de la preservación cerebral como vía para una futura

reconstrucción digital del sistema nervioso.

Hayworth reconoce que los avances recientes en conectómica son extraordinarios, pero advierte de que algunas empresas como Eon System están transmitiendo **una imagen demasiado optimista** del estado real de la neurociencia. En sus palabras, están “haciendo creer que estamos mucho más avanzados en neurociencia de lo que realmente estamos”.

Su principal argumento es que un conectoma únicamente describe el mapa de conexiones entre neuronas, pero no permite entender cómo funciona ese sistema. Según explica, el cerebro está compuesto por decenas de miles de tipos neuronales distintos, cada uno con propiedades biofísicas específicas, y gran parte de los mecanismos que determinan su comportamiento siguen sin conocerse. Por ello, considera que **los conectomas** son un avance fundamental como herramienta de investigación, pero todavía insuficiente para reconstruir o simular fielmente un cerebro.

Desde su perspectiva, el reto no es solo cartografiar las conexiones, sino conservar toda la información biológica que podría resultar relevante para su funcionamiento. Esto incluye no solo las sinapsis, sino también proteínas, receptores, canales iónicos, células gliales y la arquitectura microscópica del tejido cerebral. Su razonamiento es deliberadamente **conservador**: puesto que aún no sabemos qué elementos son esenciales, la única forma de evitar perder información crítica sería preservar la mayor cantidad posible de estructura biológica.

A partir de ahí, Hayworth plantea un escenario futuro en el que una preservación suficientemente completa permitiría reconstruir un sistema con correspondencia uno a uno respecto al cerebro original. En ese caso, no se trataría de una simple imitación conductual, sino de una recreación de los mismos procesos causales que ocurren en el tejido biológico.

Bajo esa hipótesis, sostiene que una **emulación fiel** debería generar los mismos estados mentales que el sistema original, algo muy distinto —en su visión— de los modelos actuales de inteligencia artificial que, en su opinión, “solo imitan patrones de lenguaje sin replicar su estructura interna”.

El cerebro es dinámico, no estático

Otra de las grandes dificultades para lograr una emulación completa es que el cerebro no es un sistema fijo, sino dinámico. La **actividad neuronal** cambia continuamente en función de la experiencia, el aprendizaje y el entorno. Aunque hoy en día se pueden crear modelos virtuales y entrenarlos con información del mundo real, estos sistemas todavía están muy guiados y controlados por los datos que les damos, por lo que no tienen una autonomía comparable a la de un cerebro biológico.

Javier Morante, jefe de Grupo en el Instituto de Neurociencias -un centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Miguel Hernández (UMH)- comenta que a esto se suma que el cerebro cambia según la etapa vital y las condiciones biológicas.

El investigador apunta en conversaciones con SINC que no es lo mismo uno en desarrollo que uno adulto o envejecido, ni tampoco el de distintos sexos o el afectado por enfermedades neurodegenerativas. Todo eso introduce variaciones que todavía no sabemos modelar bien. Por eso insiste en que “muchas enfermedades probablemente son cerebros distintos”, y que aún no entendemos cómo encajan en una misma teoría general.

“En la drosófila ya estamos hablando de miles de cortes ultrafinos del cerebro y de reconstruir después toda esa información con ordenadores. El problema no es solo hacer las imágenes, sino mover y procesar cantidades enormes de datos entre máquinas, algo que exige horas de cálculo,

superordenadores y mucha energía. Y aun así, esto es en un organismo pequeño: cuando intentas escalarlo a algo como **el ratón**, donde el cerebro es muchísimo más grande y complejo, la dificultad se multiplica de forma exponencial», concluye.

Escalando a mamíferos

El siguiente hito en el campo de la conectómica es el estudio de los mamíferos. Si la mosca de la fruta tiene unas 130 000 neuronas, el ratón cuenta con decenas de millones. Es decir, el cerebro de este roedor tiene varios cientos de veces más neuronas que el de la drosófila. Precisamente a este objetivo dedica su trabajo **Moritz Helmstaedter**, director del departamento de Neurociencia del Max Planck Institute for Brain Research.

“Hemos llegado a la etapa en la que todo el proceso puede ser **completamente automatizado**”, explica el investigador. En el laboratorio “no necesitamos anotación humana para analizar los datos”, señala, en referencia al salto tecnológico que permite procesar volúmenes cada vez mayores de tejido cerebral.

Ese avance en automatización es clave. El equipo trabaja actualmente en volúmenes de varios milímetros cúbicos, alrededor de 20 mm³, pero el objetivo es muy superior. “Queremos llegar a 500 mm³, que sería un conectoma de ratón completo”, apunta Helmstaedter.

El salto de especie no se limita a este roedor. El grupo también explora otros cerebros de mamíferos para entender cómo cambia la organización neuronal con la escala. “Hemos trabajado ya con primates como el tití y el macaco, y también estamos mirando elefantes”, detalla. «Queremos entender si el tamaño del cerebro o la inteligencia es lo determinante».

Sobre los plazos, el investigador es cauto con la biología, pero mucho más optimista con la ingeniería. Un conectoma completo de ratón en esta década es, en su opinión, un objetivo alcanzable. El caso del cerebro humano, sin embargo, se mueve en otra escala completamente distinta.

«Con los ritmos habituales de financiación científica, sería hacia final de siglo. Pero si hay inversión seria, podría hacerse en 10 años. Estimo que harían falta entre **10 000 y 20 000 millones de dólares** o euros para lograr el conectoma completo del cerebro humano en una década», calcula.

Morante es del mismo parecer y está convencido de que en el futuro será posible mapear el cerebro humano en su totalidad, aunque «no lo harán científicos o biólogos» dependientes de subvenciones públicas, sino «grandes empresas tecnológicas, como **Google u OpenAI**. Creo que este tipo de proyectos los liderarán consorcios privados con muchísimo dinero», apostilla.

Fuente: [Agencia SINC](#)

<https://www.iisaragon.es/el-conectoma-avanza-pero-el-cerebro-sigue-siendo-un-sistema-inabarcable>