

La estructura de las revoluciones neurocientíficas

Alan Edrei **Flores-Gaona**
Gerardo **Rojas-Piloni**

El desarrollo de la neurociencia ha supuesto un largo viaje epistémico que inicia desde el nacimiento mismo de la conciencia.

El estudio del órgano más complejo conocido se ha visto sujeto a una constante revolución y reestructuración de la forma en la que se ha pensado en él, llevándonos desde la metafísica hasta la ciencia formal. A lo largo del presente trabajo analizamos este desarrollo desde la óptica de *La estructura de las revoluciones científicas*, propuesta por Thomas S. Kuhn. Grosso modo, esta teoría epistémica postula que toda ciencia cruza por tres periodos:

1) La preciencia, que inicia como una etapa descriptiva en la que existe desacuerdo sobre los aspectos esenciales del objeto de estudio, con tantas variantes como científicos la aborden. Las discrepancias van alcanzando acuerdos hasta formar paradigmas, consensos sobre la naturaleza de un objeto de estudio,¹ alcanzando el segundo estado.

2) La ciencia normal, que se dedica a refinar el paradigma y a explicar todo cuanto pueda a través de él. Sin embargo, todo paradigma tiene siempre sus limitaciones, lo que produce una continua acumulación de enigmas, misterios que le es imposible resolver, hasta el punto en el que se genera una revolución.

3) La revolución es el tercer estado de la ciencia, que llevará a la creación de un nuevo paradigma, que supere las limitaciones del previo y resuelva sus enigmas, produciendo así un nuevo estado de ciencia normal.

La elección de este modelo epistémico se sustenta tanto en su impacto, aún vigente, como en su metodología. Thomas Kuhn siguió y culminó la corriente del historicismo, la cual previamente había sido utilizada por Auguste Comte, Carl Prantl y Paul Feyerabend, entre otros. Se trata de un método para abordar la filosofía a través del análisis histórico; brindando valiosas herramientas para nuestro propósito: analizar el desarrollo histórico de la neurociencia.

LA PRIMERA Y ÚLTIMA PREGUNTA

El desarrollo científico es el comportamiento más distintivo que poseemos como especie, nuestro mecanismo último de adaptación que ha superado ya su naturaleza como simple medio de supervivencia. ¿Cómo surge la ciencia? La supervivencia animal depende de la relación entre el individuo, los cambios físicos y sus relaciones biológicas con el mundo, de forma que sería intuitivo pensar que la física y la biología habrían de ser las primeras rutas precientíficas en desarrollarse para nuestra especie. No obstante, estas primeras interrelaciones causales no surgen de ninguna capacidad reflexiva. No requieren una abstracción lógica que las lleve más allá de la reacción, el hábito y el instinto. No se distinguen del resto de conocimientos animales y no pueden ser ni articulados ni compartidos bajo consenso, de forma que no llevan al desarrollo de una preciencia. Para llegar a estos elementos mínimos en la génesis científica, se requiere un medio para compartir no una reacción ante el mundo, sino una interpretación del mismo: se requiere un marco de referencia, razón y lenguaje; se requiere de la conciencia. La prueba de que se ha alcanzado este punto, es la capacidad de cuestionarse sobre los propios deseos internos,

los sentimientos y los pensamientos: sobre la naturaleza del sistema nervioso.

A partir de este punto, el paso de los siglos dejó tras de sí acumulación, confrontación y cohesión del conocimiento racional.

Hasta inicios del siglo pasado la mayoría de las observaciones y reflexiones humanas se habían incorporado ya a un campo de estudio sólido, la ciencia normal se volvió el estado del conocimiento general del hombre moderno occidental. Todo mientras la neurociencia recién comenzaba a esbozar la creación de sus paradigmas, como se revisará a continuación. La naturaleza del sistema nervioso se volvió entonces nuestra primera y última pregunta.

DE LA METAFÍSICA A LA ELECTRICIDAD. EL CAMINO DE LA NEUROFISIOLOGÍA HACIA LA CIENCIA NORMAL

El camino de la neurociencia comienza con una densa neblina perceptual. Al inicio de la preciencia, la gran diversidad de procesos que regula el sistema nervioso produjo una percepción difusa del mismo; no se comprendía cómo es que el pensamiento, las emociones, la memoria, el movimiento y los sentidos podían ser resultado de un mismo ente, de forma que se distribuyeron sus funciones entre otros órganos, principalmente el corazón. La teoría cardiocéntrica se remonta hasta Aristóteles en el siglo IV a.C. y proponía que era el corazón el responsable de regular las emociones, la memoria y el pensamiento complejo, englobando a estas nociones contemporáneas bajo el concepto de alma. Pese a lo popular que sigue siendo la relación del corazón con estas nociones, fue en la misma Grecia,² de la mano de Alcmeón y Anaxágoras en el siglo III a.C., donde comenzaría la mirada al cerebro como centro de la cognición y la sensación. Esta idea fue aceptada por Hipócrates, padre de la medicina, pero bajo su teoría humoral, que describía el comportamiento y vitalidad según el equilibrio entre cuatro líquidos esenciales. La vitalidad líquida perduraría entonces hasta el Renacimiento, llegando a proponerse que los ventrículos cerebrales eran el asiento del alma.³

Es innegable el aporte a las neurociencias por parte de la medicina, sin embargo, mientras esta se consolidaba, el estudio del sistema nervioso se limitó a simples correlaciones causa-efecto. Esto comenzó a cambiar en el siglo XV (imás de mil años después!), gracias a las contribuciones de Thomas Willis (1621-1675). Padre de la anatomía comparada, Willis inició la descripción neuroanatómica y esbozó los primeros pasos a una correlación funcional, sembrando las bases para iniciar una crisis que uniría finalmente las funciones del sistema nervioso.

Este primer gran periodo de crisis trajo consigo fuertes discusiones sobre la naturaleza de la relación cerebro-mente. El pensamiento, la memoria, las emociones, la conciencia... se podía localizar a todas estas funciones, hasta el momento metafísicas, dentro de un órgano físico, pero no tan fácilmente se podía sacar la metafísica de ellas. ¿Era el cerebro un simple intermediario entre la materia y algo más? Se presentaron dos posturas: el materialismo y el dualismo. El dualismo veía al cerebro como un vehículo independiente a esa entidad metafísica responsable de nuestra capacidad cognoscente. Por otra parte, el materialismo postulaba que todo proceso mental, por complejo e inexplicable que fuera, se encontraba generado y limitado a la neurofisiología; la mente como producto de la materia.

El materialismo constituye el primer paradigma sobre el que comenzará a edificarse la neurofisiología. Sin embargo, existió una gran dificultad para renunciar a la metafísica en esta ciencia. Siempre ha resultado fascinante la organización funcional de los seres vivos, la cual no se limita a una interacción de fuerzas, sino que se sirve de ellas en contra del desorden natural del universo, dando la impresión de tener un propósito en sí misma. Jacques Monod se sirvió del término teleonomía para referirse a este aparente propósito fisiológico, señalando que de entre todos los sistemas, no existe ninguno más intensamente teleonómico que el sistema nervioso. Un sistema que organiza sistemas, llevando intrínsecamente la cualidad de propósito. ¿Cómo pensar en él bajo el cómo y no el por qué?

Discrepancias fisiológicas como la de Pierre Flourens contra la frenología de Gall,⁴ continuaron en el siglo XIX aun después de establecida la función cognoscitiva del cerebro, pues no existía la tecnología ni el conocimiento para explicarla. El hecho de que a la neurociencia le fuese tan complicado alcanzar un periodo de ciencia normal se debe en gran parte a que previamente requería la maduración de otras ciencias, de forma que pudiera obtener los paradigmas clave que la sustentaran; siendo los más importantes la teoría celular por parte de la biología, y el estudio de la electricidad por parte de la física.

El primer caso, el de la teoría celular, se vería enmarcado por dos grandes ironías:

1) En la segunda mitad del siglo XIX la microscopía permitió a Jakob Schleiden y Theodor Schwann proponer la teoría celular, que habría de generar un paradigma ineludible: todo proceso fisiológico tiene como unidad funcional a la célula. Irónicamente, esto aplicaba para todo órgano de todo ser vivo, a excepción del sistema nervioso. Las técnicas de la época no permitían distinguir a una neurona de entre todas las células vecinas, lo que llevó a Joseph von Gerlach, en 1871, a proponer que este órgano estaba compuesto por una malla continua sin individualidad celular. Esta sería la teoría reticular, popularizada y defendida por el médico italiano Camilo Golgi.

2) Para demostrar su validez, Golgi desarrollaría un método de tinción selectiva a células y fibras nerviosas, método que hasta la actualidad lleva su nombre. Sin embargo, esta misma técnica fue perfeccionada años más tarde por Santiago Ramón y Cajal, quien aumentó su selectividad y permitió ver por primera vez a una neurona independiente, terminando así con la controvertida teoría reticular. Ramón y Cajal recibió, junto con Golgi, el Premio Nobel de medicina en 1906.

Se había determinado la estructura fundamental del sistema nervioso, ahora quedaba por delante el gran reto de entender cómo estas pequeñas unidades se conectaban y comunicaban entre sí.



© Aída Ortega. *Apenas te veo*, 2018.

A mediados del siglo XIX se descubrió que era posible generar contracciones si un músculo era expuesto a una corriente eléctrica, a partir de lo cual surgieron dos posturas que convergieron en una controvertida lucha que confrontó a Luigi Galvani y Alessandro Volta. Volta propuso que esas corrientes provenían de los instrumentos metálicos utilizados para su medición, mientras que Galvani postuló la existencia de una electricidad animal, una corriente generada por los propios nervios.

Esta controversia abrió las puertas tanto al desarrollo del electromagnetismo en la física, como a la creación de una escuela electrofisiológica para el estudio del sistema nervioso. Siguiendo esta escuela, Giovanni Aldini en Italia, y Herman von Helmholtz en Alemania, describirían ya en términos eléctricos el sistema de transmisión nerviosa, logrando incluso, este último, medir la velocidad del impulso nervioso: 27 metros por segundo.⁵ Helmholtz, a su vez, fue sucedido por su discípulo, Julius Bernstein, quien finalmente propone para inicios del siglo XX que las membranas neuronales poseían poros que permitirían el intercambio de iones y generarían una carga eléctrica dinámica,⁶ un potencial de acción.

Así, al viaje hasta los fundamentos neurofisiológicos contemporáneos solo le quedaba vestirse de matemáticas, y lo haría a mediados del siglo XX de la mano de Alan Hodgkin y Andrew Huxley,

quienes desarrollaron una ecuación que predeciría la forma en la que los potenciales de acción se ven determinados por las concentraciones iónicas y la permeabilidad de la membrana celular. A partir de este punto, el reflejo más simple y el pensamiento más complejo tendrían una misma naturaleza, la mente humana se convertiría en un flujo inintermitido de iones cuya danza, extendida por billones de interconexiones sinápticas, daría forma a los sueños, las dudas, los deseos, los movimientos, los miedos y la homeostasis de la humanidad. Las herramientas para el estudio del sistema nervioso pasaron, entonces, de la metafísica a electricidad.

ACERCA DEL ESTADO CONTEMPORÁNEO DE LA NEUROCIENCIA

Junto a la teoría neuronal, la llegada de los paradigmas electrofisiológicos ha llevado sin duda a un importante consenso sobre el funcionamiento del sistema nervioso; sin embargo, para determinar si la neurociencia se encuentra finalmente en un estado de ciencia normal, habrá que evaluarla según los tres tipos de investigación que para Thomas Kuhn la definen:

1) En primer lugar, está la extensión y perfeccionamiento de los grandes descubrimientos de una ciencia. La neurociencia contemporánea cumple esta actividad. Muestra de ello es la demostración cada vez más fina del comportamiento eléctrico neuronal, desarrollándose por ejemplo las ecuaciones de Nernst y de Goldman, ampliándose a fenómenos derivados como el papel de la mielina, la participación de diversos neurotransmisores a nivel sináptico y de multitud de canales iónicos específicos, etcétera.

2) En segundo lugar, la ciencia normal se ocupa de las determinaciones fácticas, de la búsqueda por llevar a la experimentación aquellas cosas que el paradigma predice posibles. Esta es generalmente la empresa más difícil, pues las predicciones suelen avanzar a mayor velocidad que la observación y la tecnología. No obstante, esto no resulta del todo claro para el caso de las neurociencias, y sobre esto se profundizará más adelante.

3) Finalmente, la tercera actividad de la ciencia normal es articular y condensar sus paradigmas, generando constantes físicas, leyes y ecuaciones. Aquí nuevamente la neurociencia posee dificultades, dado que, pese al gran desarrollo de sus líneas más básicas y aplicadas, se percibe lejana la posibilidad de articular en forma de leyes y constantes ambos extremos de la neurociencia. Claramente existe una fuerte limitación tecnológica y teórica que permita conectar las contribuciones bioquímicas y biofísicas con el comportamiento del sistema nervioso a gran escala.

Pese sus grandes avances, las limitaciones en las actividades del segundo y tercer tipo hacen dudar que la neurociencia se encuentre en un periodo de ciencia normal; de forma que podría estar inmersa en un estado de revolución. En la estructura de las revoluciones científicas, Kuhn postula que las revoluciones generalmente no se perciben como tales, sino que más bien son interpretadas precisamente como adiciones al conocimiento científico. En este sentido, las revoluciones resultan ser casi invisibles. Así que, ¿cómo determinar si la neurociencia se encuentra inmersa en una?

SOBRE LA NEUROCIENCIA FUTURA Y EL DESARROLLO DE SUS PARADIGMAS

La ciencia normal goza de estabilidad. Sus practicantes encuentran confianza en los paradigmas y es sencillo para alguien interesado unirse a su práctica. Esto ocurre porque los paradigmas son articulados, reunidos y descritos en obras específicas: los libros de texto, los elementos más distintivos de una ciencia normal, que funcionan como sus unidades paradigmáticas. Los descubrimientos no se suceden unos a otros en un orden específico con la intención de llegar a los paradigmas actuales, sino que las ideas van surgiendo de forma gradual, muchas veces incluso en confrontación. Sin embargo, si con el paso del tiempo estos descubrimientos resultan útiles para describir los consensos actuales, los libros de texto los toman y contextualizan, los articulan dentro del resto de los conocimientos para dar forma a una



© Aída Ortega. *Encantadora*, 2018.

sola interpretación, dando la impresión de que las cosas han sido siempre así. Los libros de texto, de esta forma, ocultan las revoluciones científicas, pues cada vez que se producen cambios en los paradigmas, cada que finaliza una revolución científica, estos se reescriben total o parcialmente; y una vez reescritos, enmascaran inevitablemente no solo la función, sino la existencia misma de las revoluciones que los han producido.

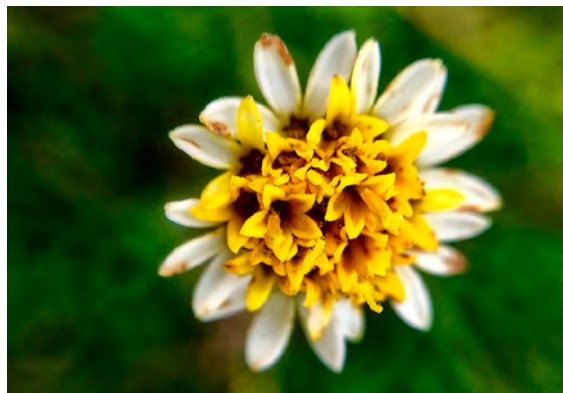
En esto la neurociencia exhibe nuevamente una excepción aparente. Aunque existen efectivamente estas unidades paradigmáticas (véase por ejemplo *Principios de Neurociencia* de Erick Kandel), la fuerte interdisciplinariedad de esta ciencia genera un importante desarrollo tecnológico que produce una actualización constante de sus paradigmas y genera posibilidades que exceden la capacidad de actualización de los libros de texto.

Si bien los paradigmas actuales no están siendo juzgados ni derrumbados, como el campo semántico de revolución podría hacer esperar, es cierto que existe la posibilidad de que esta esté ocurriendo. No se ponen en duda los fundamentos neurofisiológicos, pero estos parecieran ser apenas uno de los muchos pilares necesarios para finalmente

estructurar a la neurociencia en su etapa normal. La revolución muestra el carácter imperfecto y susceptible de avance en una ciencia. Muestra, más que en cualquier otro periodo, oportunidades de generar nuevas propuestas, nuevos descubrimientos y paradigmas. La neurociencia contemporánea fluye rápidamente a través de estas oportunidades, las cuales parecen concentrarse ya no en los elementos del sistema en sí, sino en sus propiedades emergentes. Para la neurociencia es necesario aún generar un puente entre la biología molecular y el conectoma, llevar los pequeños elementos que componen el sistema nervioso y articularlos para entender cómo funcionan en conjunto.

El estudio de los circuitos neuronales parece comenzar a trazar este camino; sin embargo, las herramientas actuales de su descripción, basada en su semejanza con un circuito eléctrico y bajo un enfoque computacional (neuronas como unidades lógicas dentro de sus circuitos), poseen una enorme diversidad de elementos faltantes, destacándose la escasa contemplación a la modulación glial,⁷ que ofrece un importante dinamismo al comportamiento del sistema.

El paradigma actual aspira encontrar el conectoma como la máxima descripción funcional del sistema nervioso. Sin embargo, toda esta complejidad carecería de valor predictivo, si no se consideran las modulaciones dinámicas y no dependientes de comunicación eléctrica generadas por la glía. Durante el último siglo, la neurociencia ha privilegiado el estudio de la neurona sobre el resto de los componentes del sistema nervioso, algo que se pone de manifiesto en su propio nombre: neurociencia. El paradigma de la interpretación y las unidades semánticas que rigen el estudio del sistema nervioso se encuentran en anacronía con el desarrollo actual de su investigación, de forma que sería posible plantear que exista, efectivamente, una crisis en las neurociencias, y que estas continúen aún su largo viaje, desde el origen de la conciencia hasta el día de hoy, buscando encontrar su periodo de ciencia normal.



© Aída Ortega. De fiesta, 2016.

Una de las últimas reflexiones planteadas en *La estructura de las revoluciones científicas* es: ¿cómo habría de ser la naturaleza, incluido el ser humano, para que fuese posible la ciencia? Kuhn propone que deben existir condiciones y capacidades mínimas de adquisición de información y aprendizaje, que dieran origen a la conciencia en un proceso que escapa al conocimiento actual del ser humano, por lo que resulta imposible resolver el planteamiento en la actualidad. No obstante, no se puede negar que la respuesta a la primera y última pregunta de la humanidad, la naturaleza de nuestra capacidad cognoscente, que se extiende a la conciencia, la motricidad, la percepción, las emociones, la cultura y la ciencia; se encuentra oculta en los procesos lógicos y adaptativos, de recompensa y motivacionales intrincados en la mecánica caótica del cerebro humano. Kuhn menciona que no estamos en posición de responder a esta pregunta, sin embargo, la neurociencia, alcanzando su estado de normalidad, algún día habrá de llevarnos a ese momento.

N O T A S

¹ Uno de los paradigmas más famosos en la física es el de la luz. En ciertos momentos se la concibió como un conjunto de partículas, en otros, como una onda. Cada uno de estos puntos de vista permitía explicar ciertos fenómenos, cambiaba la forma en la que se interpretaban los hechos observados en el mundo. Lo mismo sucede para todas las cosas que conocemos: no podemos experimentar y demostrar todo, así que partimos de supuestos, asumimos y normalizamos la naturaleza de los fenómenos observados y a partir de estos supuestos (paradigmas), construimos nuestra realidad.

² Es muy probable que las nociones griegas provinieran o se vieran influenciadas por su contacto con Egipto, donde desde el año 2700 a.C. se había registrado el papel del cerebro en la cognición y el lenguaje, como deja ver el *Papiro quirúrgico* descubierto por Edwin Smith, donde se muestra una antología de casos clínicos de la época, destacándose, por ejemplo, la más antigua referencia a la afasia (pérdida del lenguaje debida a una lesión cerebral).

³ Esto fue sugerido por Galeno en el 400 d.C. Los ventrículos son las áreas por las que circula el líquido cefalorraquídeo en el cerebro, una sustancia similar al plasma sanguíneo cuya función es transportar nutrientes y recoger desechos.

⁴ Durante el siglo XVIII y XIX se realizaron importantes avances en la neurofisiología gracias al análisis de autopsias. Este sistema llevó a postular que a cada región del cerebro le correspondía una función específica. La frenología, desarrollada por el anatomista vienés Franz Joseph Gall, y popular en el siglo XIX, fue una pseudociencia que llevó esta idea al extremo. Postulaba que era posible, por medio de la inspección minuciosa del cráneo, identificar características tales como la capacidad mental, el carácter y la personalidad de un individuo. Si se piensa un poco, no resulta sorprendente que esta práctica se popularizara en muchas poblaciones como herramienta para validar la esclavitud y el racismo imperantes en su tiempo.

⁵ Esta velocidad es imprecisa ya que fue medida en el nervio ciático de una rana. Las velocidades de transmisión dependen en gran medida del calibre del axón de cada neurona, cuyo aumento reduce la resistencia y por lo tanto, aumenta la velocidad. Otro factor importante para determinar la velocidad de conducción nerviosa en determinado tracto es la presencia o no de vainas de mielina.

© Aída Ortega. Llanto, 2018.



⁶ Al pensar en la electricidad del sistema nervioso, es común imaginar corrientes de electrones que fluyen como en un cable eléctrico; sin embargo, Bernstein permitió observar que en realidad se trata del flujo de iones, los cuales poseen carga. Al ingresar iones positivos desde el exterior de una célula, esta adquiere una carga más positiva (despolarización), lo cual induce la apertura de canales adyacentes que permiten la entrada de más iones positivos, iniciando una cascada de despolarizaciones que recorre la neurona como si de un cable eléctrico se tratara.

⁷ La glía es un conjunto de células no neuronales del sistema nervioso, las cuales median una gran cantidad de procesos, tales como suministrar energía a las neuronas, servir como anticuerpos, e incluso regular las transmisiones sinápticas, inhibiéndolas o facilitándolas. Aunado a esto, son responsables de la mielinización de los axones, indispensable para permitir que los potenciales de acción se propaguen por grandes distancias. Así, no será posible entender las redes neuronales sin atender la regulación glial que las media.

B I B L I O G R A F Í A

Kuhn TS (1985). *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México.

Schwiening CJ (2012). A brief historical perspective: Hodgkin and Huxley. *The Journal of Physiology*, 590(Pt. 11), 2571.

Brazier MA (1957). Rise of neurophysiology in the 19th century. *Journal of Neurophysiology* 20(2):212-226.

Rozo C (2007). El problema de la conciencia. El aporte de una visión estratégica en el siglo XXI. *Avances en Psicología Latinoamericana* 25(2):163-178.

Thomson AM and Armstrong WE (2011). Biocytin-labelling and its impact on late 20th century studies of cortical circuitry. *Brain Research Reviews* 66(1-2):43-53.

Rodríguez de Romo AC (2005). ¿Reticularismo o neuronismo?: diferente percepción de la misma circunstancia. *Archivos de Neurociencias* 10(1):26-32.

Monod J (1975). *El azar y la necesidad: ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Tusquets, España.

Martínez-Montes E, Castellanos A, Canales-Rodríguez E, Iturria Y y Valdés-Sosa P (2006). El cerebro como sistema complejo: estimación de la conectividad cerebral. *Revista Cubana de Física* 23:97-106.

Alan Edrei Flores-Gaona
Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM
Campus Juriquilla, Querétaro, México
alanedrei@comunidad.unam.mx

Gerardo Rojas-Piloni
Departamento de Neurobiología del Desarrollo
y Neurofisiología, Instituto de Neurobiología, UNAM
Campus Juriquilla, Querétaro, México
piloni@unam.mx



© Aída Ortega. *Peligrosa*, 2009.