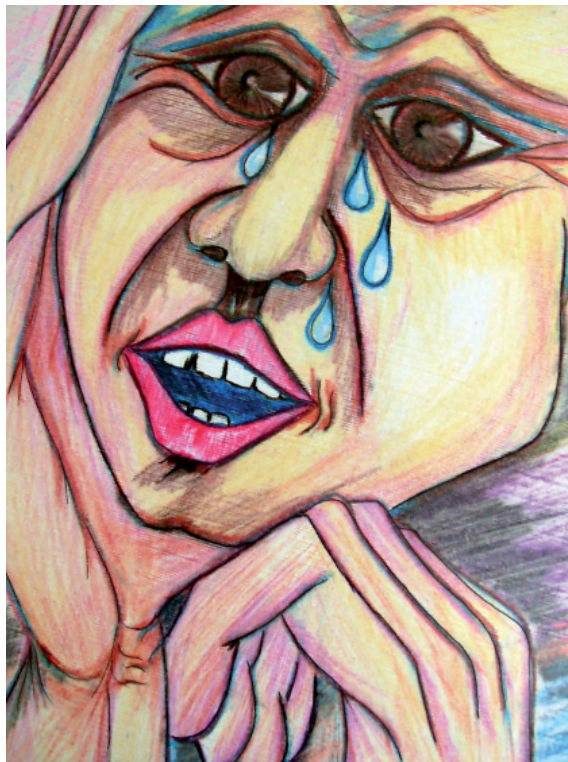


Reflexión investigativa

Reflexión



Melancolía

Autor: Nora Elena Gil

"Existen dos maneras de ser feliz en esta vida, una es hacerse el idiota y la otra serlo."

Sigmund Freud

- » La teoría neuronal: primer principio de la neurociencia contemporánea
- » Corrientes pedagógicas como formas de comprender y actuar en el mundo: una construcción social
- » Fortalecimiento comunitario desde el rol de las madres líderes: apuntes preliminares
- » ¿Las escuelas cubanas reproducen estereotipos de género?: una mirada al currículo oculto
- » Fomento de la capacidad creativa desde las prácticas de enseñanza
- » Coloquio científico de un apotegma: el desarrollo humano como problema de la psicología contemporánea. Notas desde los referentes histórico-culturales



La teoría neuronal: primer principio de la neurociencia contemporánea¹

Neurotrophic Theory: The first principle of the modern neuroscience

Marta C. Lopera-Chaves*

Recibido: 25 de noviembre del 2010 **Aprobado:** 3 de febrero del 2011

RESUMEN

El presente artículo es una reflexión derivada de la investigación "Aportaciones de Santiago Ramón y Cajal a las bases biológicas de los procesos cognitivos. Fase II: leyes y principios del funcionamiento nervioso", financiada por el Conadi (Comité Nacional de Investigación) de la Universidad Cooperativa de Colombia, orientada a distinguir las aportaciones de Santiago Ramón y Cajal a las bases biológicas de los procesos cognitivos. La determinación del carácter individual de la neurona, su estructura y conexiones constituyen el principio básico de toda la neurociencia contemporánea. Avances metodológicos, como los métodos de tinción, permitieron determinar la estructura íntima del tejido nervioso y abrir las puertas a la comprensión de su funcionamiento. En torno a los hallazgos preliminares, surgen dos posturas antagónicas: la teoría reticularista, defendida por Camilo Golgi y la teoría neuronal, con Santiago Ramón y Cajal a la cabeza. Paradójicamente, los principales defensores de ambas escuelas recibieron en 1906 el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus aportes al desarrollo del llamado método de Golgi, que permitió avances significativos en el estudio del sistema nervioso. Este capítulo de la historia de la neurociencia ilustra el difícil proceso de aceptación de una idea nueva y el peligro que encierran las posturas personales y autosuficientes para el desarrollo de un paradigma científico.

Palabras clave: método de Golgi, polarización dinámica, teoría neurotrópica, teoría neuronal, teoría reticular.

ABSTRACT

This paper gives a reflection from a research called "Santiago Ramón y Cajal contributions to biological bases in the cognitive processes. Fase II: Nerve function's laws and principles" focused to distinguish contributions by Santiago Ramón y Cajal to biological principles of cognitive processes. The individual nature configuration of neuron, its structure and connections is a basic principle of modern neuroscience. Methodological developments, such as staining methods, determine the inner nerve tissue structure and open windows to understand its physiology. Regarding preliminary findings there are two incompatible views, i.e. Reticular Theory by Camilo Golgi against Neural Theory by Santiago Ramón y Cajal. The main proponents of both schools were given Physiology and Medicine Nobel Prize in 1906 by their contributions to develop Golgi method, which resulted in significant advances to study the nervous system. This chapter in the neuroscience history illustrates the difficult process to accept a new idea and dangers by personal criteria and self-sufficient to develop a scientific paradigm.

Keywords: Golgi method, dynamic polarization, Neurotrophic Theory, Neural Theory, Reticular Theory.

Cómo citar este artículo: Lopera-Chaves, Marta C. (2011), "La teoría neuronal: primer principio de la neurociencia contemporánea", en *Revista Pensando Psicología*, vol. 7, núm. 12, pp. 55-61.

¹ Este trabajo forma parte de la investigación "Aportaciones de Santiago Ramón y Cajal a las bases biológicas de los procesos cognitivos. Fase II: Leyes y principios del funcionamiento nervioso", financiada por el Conadi (Comité Nacional de Investigación), Universidad Cooperativa de Colombia, 2009-2010.

* Fisióloga de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia. Licenciada en Educación de la Universidad Pontificia Bolivariana. Magíster en Fisiología de la Universidad de Antioquia. Doctora en Neurociencias de la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España. Docente de la Facultad de Psicología de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Medellín. Correos electrónicos: marta.lopera@campusucc.edu.co, martaclopera@gmail.com.

Antecedentes históricos

Los comienzos de la histología moderna se sitúan en 1841 con la publicación del tratado de Henle: *Allgemeine Anatomie*. Años más tarde, Kölliker, considerado el padre de la anatomía alemana, publica el primer libro de texto de histología humana: *Handbuch der Gewebelehre des Menschen* (Kölliker, 1852); poco tiempo después aparece la revista *Internationale Monatschrift für Anatomie und Histologie*, dirigida por Wilhelm Krause, en la que publicaban los más destacados morfólogos de su tiempo.

Hasta 1880, la histología del sistema nervioso estaba dominada por la escuela italiana con Camilo Golgi (1843-1926) a la cabeza. Este investigador había logrado desarrollar una técnica de tinción tisular que consistía en sumergir las muestras de tejido nervioso en una serie de disoluciones de bicromato y ácido ósmico durante varios días; luego se sumergían en solución de nitrato de plata, para precipitar el cromato argéntico, el cual se depositaba en el tejido nervioso y permitía ver las células y sus prolongaciones teñidas de negro. De esta manera, se podían seguir las terminaciones neuronales y encontrar sus relaciones dentro del tejido nervioso (Golgi, 1883, p. 29, citado en Tello, 1935).

Con dicho método, Golgi estudió la sustancia gris cerebral, el cerebelo y el bulbo olfatorio, describiendo la estructura nerviosa como una red difusa formada por la unión de ramas terminales y colaterales de neuritas de todo tipo. Ésta es la formulación básica de la teoría reticular, derivada de la teoría reticularista de Gerlach, aceptada ampliamente por los investigadores del siglo XIX. Golgi afirmaba que las prolongaciones protoplasmáticas (dendritas) no formaban parte de las fibras nerviosas, pero sí se relacionaban con vasos sanguíneos y tejido conectivo, deduciendo por ello que su función era más bien de tipo nutritivo.

Nacimiento de la teoría neuronal. Aporte de Santiago Ramón y Cajal

Cajal, científico español, conocerá el método de coloración cromo-argéntica de Golgi en 1887, durante una visita en Madrid al laboratorio de

un antiguo compañero, Luis Simarro, joven investigador recién llegado de París, donde había estudiado con Mathias Duval, Ranvier y Charcot en la Salpêtrière. Simarro y Cajal habían coincidido años antes en la cátedra de histología de la Universidad Central de Madrid, presidida por Aureliano Maestre de San Juan, en la cual habían compartido su interés por la neurohistología.

Para aquella época, Cajal era profesor en Valencia, lugar donde empezaría a perfeccionar el método original de Golgi. Trasladado a Barcelona como catedrático de histología, se dedicó a determinar escrupulosamente las condiciones de la reacción cromo-argéntica para adaptarla a cada caso particular, logrando así estabilizar la reacción y fijar la preparación. Cajal introdujo la modificación del “proceder la doble y triple impregnación”, con lo que reducía el tiempo de preparación y lograba colorear el tejido cortado en bloques de algunos milímetros. Este método aplicado a los embriones producía buenas coloraciones, era más estable y permitía estudiar el desarrollo de las células nerviosas. Cajal (Ramón y Cajal, 1923, p. 57) contaría en sus memorias:

Innumerables probaturas [...] hechas en muchos centros nerviosos y especies animales, nos convencieron de que el nuevo recurso analítico tenía ante sí brillante porvenir, sobre todo si se encontraba manera de corregirlo de su carácter un tanto caprichoso y aleatorio [...] estábamos ya en posesión del instrumento requerido. Faltaba solamente determinar escrupulosamente las condiciones de la reacción cromo-argéntica, disciplinarla para adaptarla a cada caso particular [...].

Sobre esta técnica, Cajal publicó dos artículos en *La Gaceta Médica Catalana* en 1889. El primer trabajo en que utilizaba el método de Golgi en el cerebelo de las aves aparece publicado en mayo de 1888 y contiene la primera descripción de las terminaciones libres en estructuras nerviosas centrales:

Una prolongación nerviosa que parece conservar su individualidad y corre a juntarse con las fibras perpendiculares [...] las células nerviosas no se anastomosan directamente, es decir por sus expansiones protoplasmáticas [...] Diríase que

cada elemento es un cantón fisiológico absolutamente autónomo (Ramón y Cajal, 1888a, p. 313).

Termina el artículo concluyendo:

El proceder de Golgi es insuficiente para demostrar los puentes de unión de estas fibras con los de la sustancia blanca; o la conexión entre éstas y los cilindroejes puede ser mediada y verificarse la transmisión de la acción nerviosa como corrientes eléctricas (Ramón y Cajal, 1888a, p. 314).

Cajal logró ver las puntas o espinas cortas de las dendritas del cerebelo (1888b), corrigiendo la idea de que eran artefactos del método de Golgi, y describió las fibras centrífugas de la retina (Ramón y Cajal, 1888c, p. 79). En estas primeras publicaciones postuló y llegó a demostrar la independencia de la célula nerviosa como unidad morfológica y funcional:

Nosotros no hemos podido ver una malla de semejante red, ni en el cerebro, ni en la médula, ni en cerebelo [...] las células nerviosas son elementos independientes jamás anastomosados ni por sus expansiones protoplasmáticas [...] y que la propagación de la acción nerviosa se verifica por contactos a nivel de ciertos aparatos o disposiciones de engranajes; cuyo objeto es fijar la conexión, multiplicando la superficie de influencia (Ramón y Cajal, 1888d, p. 355).

Esta teoría neuronal chocaba de frente con la teoría reticular sostenida por Golgi y la escuela italiana. La independencia de las neuronas ya había sido postulada por Kölliker en su tratado de histología de 1852 (Kölliker, 1852). Por su lado, Augusto Forel rebatía a Golgi a partir de estudios anatómo-patológicos (Forel, 1887, citado en Tello, 1935, p. 31), Wilhelm His lo hacía desde sus hallazgos embriológicos (His, 1886), y finalmente también Cajal, quien utilizando el método de tinción de Golgi mejorado logró demostrar que la estructura íntima del sistema nervioso estaba conformado por células que se comportan independientes genética, morfológica y fisiológicamente (Ramón y Cajal, 1888d). Años más tarde, Waldeyer, en un trabajo en el que hacía una exposición clara y metódica sobre las nuevas ideas, ilustrada con numerosos esquemas y gráficos, denominaría

neuronas a dichas células nerviosas (Waldeyer, 1891), y el término sinapsis para las conexiones de las neuronas por contigüidad lo acuñó el fisiólogo inglés Sherrington en 1896.

Entre 1888 y 1889, Cajal hizo los hallazgos más importantes tanto sobre la independencia de las neuronas, como sobre su teoría de la conexión general de los elementos nerviosos en estudios realizados en cerebelo, retina, médula y lóbulo óptico de las aves. La mayoría de esos trabajos se publicaron en una revista autofinanciada de escasa circulación *La Revista trimestral de histología normal y patológica*, y posteriormente en la *Gaceta Médica Catalana* y otras publicaciones.

A pesar de la importancia de sus hallazgos, Cajal era prácticamente un desconocido cuando asistió en octubre de 1889 al Congreso Anatómico de Berlín, en el que interactuó con los más destacados anatomistas de su tiempo: Kölliker, Waldeyer, Retzius, Lenhossék, van Gehuchten, entre otros. Allí mostró sus mejores preparaciones microscópicas de médula, cerebelo y retina, y pudo explicar los pormenores de la aplicación del método de Golgi modificado para obtener excelentes resultados: la edad y condiciones de los embriones, los animales más convenientes, cómo aminorar los inconvenientes de la técnica original, entre otros.

Kölliker, director del Instituto Anatómico de Wüsburgo, un reconocido centro de investigación científica, le dirá en una carta escrita un mes después del Congreso de Berlín: “[...] usted tiene un gran mérito por haber empleado el cromato de plata en los animales jóvenes y en los embriones” (Ramón y Cajal, 1923, p. 93).

La demostración de sus preparaciones histológicas durante el Congreso de Berlín le facilitó la aceptación de las autoridades científicas. Cuenta Cajal en sus memorias:

El más interesado de mis oyentes fue A. Kölliker, el venerable patriarca de la histología alemana. Al final de la sesión, condújome en carruaje al lujoso hotel donde se alojaba; me convidó a comer; presentándome a los histólogos y embriólogos más notables de Alemania [...] Los resultados obtenidos por usted son tan bellos —me

decía— que pienso emprender inmediatamente, ajustándome a la técnica de Vd., una serie de trabajos de confirmación. Le he descubierto a Vd. y deseo divulgar en Alemania mi descubrimiento Fin de cita (Cajal, 1923, p. 93).

Kölliker y His acogieron rápidamente sus hallazgos, ya que Cajal les proporcionaba la metodología adecuada para comprobar sus intuiciones acerca de la independencia de las neuronas. Por otro lado, van Gehuchten, un joven y promisorio investigador belga, le había solicitado instrucciones para lograr resultados con el método de Golgi y exponía sus hallazgos con sus elocuentes conferencias ante la Sociedad Belga de Microscopía (van Gehuchten, 1891a, 1891b). La actividad era frenética en todos los laboratorios: en Leipzig, el embriólogo His apoyaba la individualidad de los neuroblastos en formación; Retzius en Estocolmo sintetizaba la concepción neuronal relacionada con los órganos de los sentidos; Lenhossék en Basilea confirmaba los hallazgos de Cajal en la médula y aportaba valiosos datos sobre su estructura; Edinger publicó en Frankfurt un libro clásico sobre la estructura comparativa del sistema nervioso y en París Azoulay traducía monografías y textos, mientras que Mathias Duval, reconocido docente y conferencista, realizaba grandes tablas ilustrativas para hablar de los nuevos conceptos expuestos por Cajal.

Las cartas nos muestran este proceso de aceptación y adhesión a las nuevas ideas expuestas por Cajal. Edinger, a quien Ramón y Cajal había conocido en Frankfurt de paso para el Congreso de Berlín, le escribe una carta en enero de 1890, en la que reconoce la importancia de este nuevo método de tinción, sobretodo aplicado a la fase del desarrollo:

Un grupo de interesados hemos estudiado aquí conjuntamente esta excelsa selección (de preparaciones) y hemos llegado al convencimiento de que este nuevo método abre las puertas a un inmenso e innovador campo de investigación si se aplica al feto. El sinfín de nuevos detalles que puede aportar a lo ya conocido nos sobrecoge a veces [...] Pero tengo que admitir que su interpretación tiene la máxima credibilidad [...] no tenía la más

mínima sospecha de la exactitud y precisión con la que, gracias al magnífico método de impregnación argéntica, es posible demostrar la multitud de hechos descubiertos por Vd. (Lopera, 2008a, p. 36).

Lenhossék (Lopera, 2008, p. 30), en una carta dirigida a Ramón y Cajal en enero de 1890, le expresa sus dificultades para utilizar el método de Golgi original: “[...] en los últimos tiempos apenas he utilizado el método de Golgi pues desanimado por los continuos y repetidos fracasos técnicos [...]”.

Más adelante expresa su admiración y adhesión:

Sus reiterados y sobresalientes descubrimientos producenme gran admiración por su genio, tanto por el reconocimiento de nuevos hechos como la perfección artística de sus reproducciones gráficas; considero sus hallazgos como las conquistas más importantes realizadas desde hace décadas en el dominio de la anatomía microscópica [...] Yo tengo ahora mucho que lamentar el no haber comprendido antes toda la importancia de los trabajos de usted, y haber mostrado acerca de ellos un escepticismo injustificado, que espero habrá Usted sabido olvidar

En 1890, Cajal vio por primera vez el cono de crecimiento en la médula de embriones de pollo (Ramón y Cajal, 1890), descubrimiento que dio inicio al surgimiento de la teoría quimiotáctica o neurotrópica, y trata de explicar el establecimiento de conexiones interneuronales específicas a partir de ciertas sustancias químicas que atraen el cono de crecimiento hacia metas determinadas dentro del sistema nervioso.

Para 1890, ya estaban sentadas las bases de la anatomía microscópica del sistema nervioso: la independencia de las neuronas, la estructura de varios centros nerviosos, la clasificación de la tipología de las células nerviosas, y los conceptos fundamentales de su funcionamiento.

En 1891, aparece la teoría de la polarización dinámica, que explica la dirección del impulso nervioso en las prolongaciones neuronales (Ramón y Cajal, 1891a, 1891b). Esta teoría fue enunciada casi simultáneamente por Cajal y van Gehuchten (van Gehuchten, 1891), como podemos ver en una carta de noviembre de

1891, en la que el investigador señala su participación en la formulación del concepto:

Usted considera las prolongaciones protoplasmáticas² como un aparato colector o aparato de absorción de la corriente, y la prolongación cilindroaxil³ como un aparato de conducción. Yo había considerado que las primeras tenían conducción celulípeta, es decir, que conducían la sacudida nerviosa hacia el cuerpo de la célula nerviosa y la prolongación cilindroaxil tenía conducción celulífuga en relación con el cuerpo celular del mismo elemento nervioso (Lopera, 2008, p. 67).

Otro concepto sostenido por Golgi y debatido por Cajal fue el papel nutritivo de las prolongaciones protoplasmáticas, como afirma en la misma carta:

Es necesario concluir que la distinción entre el cilindroeje y las otras expansiones protoplasmáticas no es tan esencial como se ha creído hasta el presente y lo creen el Sr. Golgi y sus discípulos; y que los apéndices protoplasmáticos tienen una clara función nerviosa y no puramente vegetativa (Lopera, 2008, p. 71).

Cajal definirá más tarde el carácter único del axón:

Los estudios efectuados con el azul de metileno en cerebros de gato, las observaciones en fetos, hechas por Retzius [...] y los que yo he hecho en cerebros de niños, nos han persuadido que entre las prolongaciones polares o colaterales, solo una merece ser estimada como axón (Ramón y Cajal, 1904, p. 799).

Consolidación de la teoría neuronal

En 1892, Cajal publica un resumen de sus ideas acerca de la independencia de las células nerviosas (Ramón y Cajal, 1892). Para ese entonces, la teoría neuronal, presidida por Cajal, reconocía la individualidad de las células nerviosas, el carácter y función de sus prolongaciones, y el sentido que seguía la corriente nerviosa dentro de ellas; había desarrollado y estandarizado la utilización de métodos de tinción de tejidos tan exitosos que hoy en día podemos admirar preparaciones histológicas

perfectamente coloreadas y conservadas. Las ideas de Ramón y Cajal se volvieron cada vez más conocidas y aceptadas, dando paso a la consolidación de la teoría neuronal y a la posterior adhesión de muchos investigadores a ella. Retzius, en una carta de diciembre de 1898, le reconoce como la cabeza de la teoría: “No obstante, antes que nadie debe también usted defender la teoría con fortaleza, usted que fue la cabeza de la formulación [...]” (Lopera, 2008, p. 71).

En 1894, la Real Sociedad de Londres, en cabeza de los fisiólogos Foster y Sherrington, invitaron a Cajal a participar en *La Coonian Lecture*, discurso anual de síntesis de una determinada disciplina en el que participaban investigadores destacados. Cajal dictó “*La fine structure des centres nerveux*”, presentación en la que hizo un resumen de sus investigaciones, orientando sus explicaciones a sus consecuencias fisiológicas (Ramón y Cajal, 1894).

La teoría reticularista seguía avanzando por su lado. En 1897, Apáthy y Bethe, utilizando un método de fijación asociado al cloruro de oro, descubrieron en el protoplasma de células nerviosas una red, las llamadas neurofibrillas o fibrillas elementales conductoras, cuya función era establecer una comunicación de continuidad directa entre las diversas neuronas. Cajal trató durante años de reproducir este método de tinción intentando ver dichas fibrillas, pero no fue sino hasta 1903, después de múltiples experimentos y variaciones, que logró desarrollar el método del nitrato de plata reducido, técnica que permitía visualizar el cuerpo neuronal con sus prolongaciones fibrilares y su textura interna. Utilizando este método demostró que las neurofibrillas forman un armazón contráctil que se modifica en situaciones fisiológicas y patológicas. Este hallazgo no sólo le permitió combatir las nuevas posturas reticularistas, sino que se convirtió en una técnica básica para los estudios de degeneración y regeneración del sistema nervioso iniciados en 1905.

El método de Golgi, modificado por Ramón y Cajal, se convirtió en una herramienta de trabajo de todos los laboratorios histológicos de su tiempo. Cajal y Golgi fueron reconocidos

² Dendritas.

³ Axón.

por el mundo científico con el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1906, por sus aportes al estudio de la estructura del sistema nervioso (Prado, 1982). En el discurso pronunciado por Cajal, al recibir el premio Nobel en diciembre de 1906, hacía un recorrido de los hallazgos científicos que confirmaban esta teoría y mencionaba a His como su iniciador: “En resumen: el conjunto de observaciones que acabamos de exponer [...] resulta evidente como un postulado inevitable la doctrina neurogénica de His [...]” (Ramón y Cajal, 1906, p. 25).

Golgi, con su método original, coloreó las neuronas y sus prolongaciones, pero no pudo determinar la estructura íntima del sistema nervioso, por ello no superó la teoría reticular y persistió toda su vida en este error. Así, en su discurso del premio Nobel en 1906, después de estar claramente demostrada la individualidad de las neuronas, Golgi hacía relación a las redes intersticiales nerviosas, de las que había hablado en su texto de 1886, sin hacer mención a los hallazgos realizados en los últimos años por un importante grupo de investigadores. Por su lado, Cajal pronunciaba un discurso titulado “Estructura y conexiones de las neuronas”, en el que realizaba un recorrido minucioso por todos los hallazgos que apoyaban la teoría neuronal, reconociendo el aporte de cada investigador y no dejando ninguna duda de la solidez de esta propuesta científica (Ramón y Cajal, 1906).

Con Golgi y más tarde con Apaty, Bethe y Held, el reticularismo se mantuvo vigente por varios años; sus posturas, casi siempre combativas, nunca fueron ajenas a Cajal. Años más tarde, en 1932, por una solicitud del editor Levandoswky, escribe Cajal una extensa revisión en la que analiza todos los hechos que demuestran la independencia de las neuronas, publicada inicialmente en español bajo el título *Neuro-nismo o reticularismo* en los *Archivos de Neurología* (Ramón y Cajal, 1933), y su versión ampliada aparece en francés en *Travaux du laboratoire de Reserches biologique*, tomo XXIX, correspondiente a 1934, publicado poco después de su muerte.

Este texto es un resumen de la labor investigativa de Cajal, quien, después de haber

explorado por cerca de cuarenta y siete años micra a micra todo el sistema nervioso con los métodos más selectivos y demostrativos, cuenta toda la historia de la teoría neuronal, desde su primer trabajo realizado sobre el cerebelo de las aves, la clasificación de las sinapsis y las diversas formas de terminación de los axones, hasta los enfrentamientos con la teoría reticular a lo largo de todos esos años. Finalmente concluye que:

No se trata de una teoría más, apoyada en hechos más o menos verosímiles, sino de un hecho positivo, que lejos de temer a las invenciones futuras, por ser hechos bien observados, perdurarán, aunque cambien las interpretaciones (Ramón y Cajal, 1934, p. 191, citado por Tello, 1935).

Sin embargo, la consagración definitiva de la teoría reticular se da cuando aparece en el *Hand-buch der Neurologie*, un importante libro editado por Bumke y Foerster, un capítulo sobre la “Estructura de las neuronas”, en el que Cajal determina las seis unidades de la célula nerviosa: unidad genética, anatómica, funcional, trófica, de reacción, patológica y el principio de la polarización dinámica (Bûmke y Foerster, 1935).

La teoría neuronal nunca llegó a esclarecer cómo se transmitía el impulso nervioso a través de la sinapsis. En una carta de junio de 1930, dirigida a su alumno Lorente de Nó, Cajal muestra los alcances y limitaciones de la histología y de los métodos de tinción para abordar este problema funcional:

El método de Golgi como el Ehrlich⁴ tiñen la neurona precisamente hasta la sinapsis, la reunión de las células con las últimas ramificaciones cilindroaxiales [...] y para saber cómo se establece no bastan los métodos actuales y no es de esperar que sea la histología sino la físico-química la que diga la última palabra (Lopera, 2008, p. 72).

La determinación del carácter individual de la neurona, su estructura y conexiones, constituyen el pilar fundamental de toda una teoría sobre funcionamiento nervioso que ha dirigido y orientado todos los estudios del último siglo de miles de investigadores interesados en uno de

⁴ Método de tinción que utiliza el azul de metileno.

los más fascinantes y complicados misterios de la ciencia: ¿cómo funciona el cerebro?

Conclusiones

La historia de la ciencia muestra el difícil proceso de asimilación de las ideas nuevas. Una educación del joven científico, encaminada a conocer los grandes debates históricos, con sus errores y aciertos, ayudará a formar criterios, valores y competencias relacionadas con el desempeño investigativo.

Una cátedra de la ética de la investigación y un código ético serían muy útiles para enmarcar el proceso investigativo de toda institución.

Referencias

- Bumke, O. y Foerster, O. (1935), "Capítulo V. Estructura de las neuronas por Ramón y Cajal, S", en *Hand-buch der Neurologie*, Berlin, Vircows Archiv.
- Bumke, O. y Foerster, O. (1885), *Sulla fina anatomia degli organi centrali del sistema nervoso*, Milano, Casa Editrice Dottor Francesco Vallardi.
- Tello, J. F. (1935), *Cajal y su labor histológica*, Madrid, Universidad Central.
- Kölliker, R. (1852), *Ueber die Nerven der Menschlichen Haut*, Berlin, Vircows Archiv.
- Lopera, M. C. (2008a), Estudio de la correspondencia científica de Santiago Ramón y Cajal, [Tesis doctoral], Sevilla, Universidad Pablo de Olavide.
- Prado, J. M. (1983), *Los premios Nobel. V. 40: 1906*, Barcelona, Orbis.
- Ramón y Cajal, S. (1888a), "Estructura de los centros nerviosos de las aves", en *Revista trimestral de Histología Normal y Patológica*, mayo, núm. 1, pp. 314-318.
- Ramón y Cajal, S. (1888b), "Sobre las fibras nerviosas de la capa molecular del cerebelo", en *Revista trimestral de Histología normal y patológica*, mayo, núm. 1, pp. 3-49.
- Ramón y Cajal, S. (1888c), "Estructura de la retina de las aves", en *Revista trimestral de Histología normal y patológica*, agosto, núm. 1, pp. 45-46.
- Ramón y Cajal, S. (1888d), "Morfología y conexiones de los elementos de la retina de las aves", en *Revista trimestral de Histología normal y patológica*, mayo, núm. 1, pp. 11-16.
- Ramón y Cajal, S. (1890a), "Sobre la aparición de las expansiones celulares de la médula embrionaria", en *Gac. Med. Cat.*, vol. 2, pp. 413, 419.
- Ramón y Cajal, S. (1890b), "¿A quelle époque apparaissent les expansions des cellules nerveuses de la moëlle épinière du poulet?", en *Anat. Anz.* vol. 5, pp. 609-613, 631-639.
- Ramón y Cajal, S. (1890c), "Response á M. Golgi á propos des fibrillas collatérales de la moëlle épinière et de la structure de la substance grise", en *Anat. Anzienger*, vol. 5.
- Ramón y Cajal, S. (1890d), "Sur l'origine et les ramifications des fibres nerveuses de la moëlle embryonnaire", en *Anat. Anzienger*, núm. 3.
- Ramón y Cajal, S. (1891a), "Significado fisiológico de las expansiones protoplasmáticas y nerviosas de la sustancia gris", Congreso médico valenciano y *Revista de ciencias médicas de Barcelona*, núm. 2-23.
- Ramón y Cajal, S. (1891b, agosto), "Pequeñas contribuciones al conocimiento de las células nerviosas", en *Trab. Lab. Histol. Fac. Med. Barc.*, vol. 1, núm. 56.
- Ramón y Cajal, S. (1892), "Nuevo concepto de la histología de los centros nerviosos", en *Cienc. Méd.*, Barcelona, 18, pp. 1-68.
- Ramón y Cajal, S. (1894), "La fine structure des centres nerveux", *Proceeding of Royal Society*, vol. 55, en *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*, Tomo II, 3ª ed., Madrid, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, pp. 152-153.
- Ramón y Cajal, S. (1904), *La textura del sistema nervioso del hombre y los vertebrados*. Tomo II, Madrid, Imprenta de Nicolás Moya.
- Ramón y Cajal, S. (1906), "Structure et connexions des neurones. Conférence de Nobel faite a Stockholm le 12 décembre 1906", publicada en español en los *Archivos de Fisiología*, vol. V, fascículo 1, nov. 1907 y publicada en un facsímil bilingüe por el Museo Cajal, csic, Madrid, 1999.
- Ramón y Cajal, S. (1923), *Recuerdos de mi vida historia de mi labor científica. Tomo II*, 3ª ed., Madrid, Imprenta y Librería de Nicolás Moya.
- Ramón y Cajal, S. (1933), "Neuronismo-reticularismo", "Archivos de Neurología" (Tomo XIII), Facsímil publicado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Cajal, Madrid.
- Tello, J. F. (1935), *Cajal y su labor histológica*, Madrid, Universidad Central.
- Van Gehuchten, A. (1891a), "Les découvertes récentes dans l'Anatomie et l'Histologie du système nerveux central", en *Annal. De la Société Belge de Microscopie*, XV.
- Van Gehuchten, A. (1891b), "La structure des centres nerveux ; la moëlle épinière et le cervelet", *Le Cellule*, VIII, fasc. 1.
- Van Gehuchten, A. (1892), "Nouvelles recherches sus les ganglions cérébro spinaux", en *La Cellule*, t.VIII, fasc. 2.
- Waldeyer, W. (1891), "Ueber einige Forschungen im gebeite der Anat. Des Centralnervensystem", en *Vortrage in der Berliner Med. Gesellschat. Deutscher Med. Wochenscift*.