

RAMÓN Y CAJAL:

SUS APORTACIONES MÁS IMPORTANTES A LA HISTOLOGÍA

C. DÍAZ TIELAS & G. VÁZQUEZ ROCHA

karladt27@hotmail.com; nuda_veritas147@yahoo.es

Alumnos de 1º Biología (2004-05). Universidade de Vigo

Resumo: Ramón y Cajal foi un dos científicos máis relevantes da historia científica española. Realizou casi toda a súa investigación en España, en solitario e en humildes laboratorios. Non obstante, o convencemento de estar na verdade, a súa tenacidade e a valentía coa que defendeu as súas teorías foron o seu maior logro, grazas a elas os seus traballos foron aceptados polos seus colegas europeos.

Resumen: Ramón y Cajal fue uno de los científicos más relevantes de la historia científica española. Realizó casi toda su investigación en España, en solitario y en humildes laboratorios. Sin embargo, el convencimiento de estar en la verdad, su tenacidad y la valentía con que defendió sus teorías fueron su mayor logro, gracias a ellas sus trabajos fueron aceptados por sus colegas europeos.

INTRODUCCIÓN

Quizá hoy día, el entendimiento, dentro de los límites de la complejidad del sistema nervioso, sea un poco más evidente que para los histólogos de hace un siglo. La posibilidad de considerar a la neurona como una célula individual implicada en la transmisión del impulso nervioso y no como una compleja red de contacto interneuronal,

siquiera se barajaba como posible hipótesis entre los grandes eruditos de la neurología de los últimos dos tercios del siglo XIX. No fue hasta la aparición del notable científico aragonés, Santiago Ramón y Cajal, cuando se comenzaron a edificar los primeros razonamientos para explicar la anatomía y organización histológica de los centros nerviosos, así

como sus características fisiológicas y funcionales.

INFLUENCIAS, FORMACIÓN E INICIO DE LA LABOR INVESTIGADORA

Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), nació en Petilla de Aragón, un pequeño pueblo cerca de Zaragoza. Tras estudiar el bachillerato en Jaca y Huesca, se traslada a Zaragoza para cursar, influenciado por su padre, la carrera de medicina. Se gradúa en 1873 y gana unas oposiciones como cirujano de la armada española. Esto le obliga a marcharse a Cuba, donde participa en la guerra colonial y tiene un primer contacto con las enfermedades tropicales.

Vuelve a Madrid, donde se recupera del paludismo contraído y, nuevamente influenciado por su padre, decide dedicarse a la docencia universitaria en el campo de la anatomía. Para ello, comienza los cursos de doctorado en la Universidad de Madrid, siendo durante este período influenciado por Aureliano Maestre de San Juan, quien le muestra las técnicas histológicas y las «bellas preparaciones micrográficas» con las que queda -como él mismo dice- sugestionado. Cajal fue fiel discípulo de Maestre San Juan (1828- 1890) durante la fase inicial de su obra, a quien dedicó en sus memorias un recuerdo muy expresivo.

En 1877 termina el doctorado y vuelve a Zaragoza donde compra un microscopio y

un microtomo con sus ahorros y monta un sencillo laboratorio en su propia casa. El punto de inflexión que llevó al comienzo de su obra neurohistológica se produjo en 1883 cuando, tras varios fracasos, gana las oposiciones a una Cátedra de Anatomía de la Facultad de Medicina de Valencia. Aquí residió durante 4 años, publicando trabajos sobre diversos tejidos, así como, una memoria titulada «Concepto, método y programa de anatomía descriptiva y general», donde defiende una estructuración de la anatomía microscópica que conmemora las ideas de Maestre de San Juan.

Simultáneamente, Cajal se incorpora al Claustro Valenciano, un grupo de médicos que basaban la medicina en una investigación experimental. Fue en este grupo donde tuvo contacto con Peregrín Casanova, catedrático de universidad, quien introdujo el Darwinismo en la enseñanza morfológica española y propugnaba que la histología, tras una fase descriptiva, se encontraba en otra explicativa mediante la ley biogenética; resultando una de las principales influencias en la adopción, por parte de Cajal, del método ontogénico en su investigación neurohistológica.

Visita Madrid en 1887 como miembro de un tribunal de oposiciones y aprovecha este viaje para visitar los principales laboratorios micrográficos, entre los que figuraba el de Luis Simarro

donde aprendió el método de impregnación cromoargéntica de Golgi. Esta visita fue la responsable de que Cajal se consagrara a la investigación histológica del sistema nervioso.

En ese mismo año la histología logra pasar del doctorado a la licenciatura. Se crean nuevas cátedras y Cajal ocupa la de Barcelona hasta que, en 1892 es trasladado a la Cátedra de Histología e Histoquímica en la Universidad Central de Madrid, ocupando dicho puesto hasta su jubilación.

El cambio progresivo que experimentó en su labor científica se vio plasmado en su obra «Manual de Histología», que publicó en 8 fascículos desde 1884 a 1888. En la primera entrega domina claramente la influencia de Maestre San Juan y de la escuela parisina de Louis A. Ranvier. Los dos últimos fascículos, cuya temática central es el sistema nervioso, evidencian sus importantes descubrimientos iniciales como investigador original, constanding de observaciones micrográficas propias.

NACIMIENTO CONCEPTUAL

La obra neurohistológica de Santiago Ramón y Cajal tuvo dos aspectos que la caracterizaron y diferenciaron de las investigaciones de sus coetáneos; el primero de estos preceptos era metodológico y el segundo teórico:

1. No se puede hacer nada sin plata...

Cajal explotó como arma metodológica una amplia gama de protocolos de tinción histológica de los cuales, sin duda, el más importante fue la adopción de la Tinción de Golgi o cromoargéntica (técnica que no sólo emuló sino que también confeccionó). Esta técnica, que Cajal aprendió durante su estancia en el laboratorio de Luis Simarro, fue elaborada por el italiano Camilo Golgi en 1870, cuando estudiaba la estructura de las meninges. El método de tinción se basaba en la aplicación de dos soluciones, una de cromato de potasio y la otra de nitrato de plata impregnándose, de este modo, los elementos celulares (neuronas y glía).

La «Reacción Negra», como fue denominada esta tinción, proporcionaba una coloración precisa y selectiva de las neuronas y sus prolongaciones periféricas permitiendo posteriormente, con el empleo de una doble impregnación, aumentar el detalle de la muestra observada. Cajal, con la colaboración de su discípulo Juan Bartual Moret, estudió la eficacia de este procedimiento empleándolo a gran escala sobre los centros nerviosos de distintos vertebrados. Estos ensayos quedaron interrumpidos debido a su traslado a la cátedra de Histología de Barcelona, manteniendo sin embargo la comunicación con el grupo de médicos de Valencia.

2. Estudio del bosque joven...

Cajal tuvo una profunda implicación ideológica con la Teoría Evolucionista, y los estudios comparados le ayudaron a contemplar la organización de tejidos y sistemas con un cariz Darwinista. Es por ello que consideró más eficiente la utilización del método ontogénico. Éste se basaba en el estudio de los centros nerviosos, tanto de aves como de mamíferos, en estadios embrionarios, que es donde se encuentra el máximo grado de complejidad. Seleccionando la fase embrionaria adecuada, las células se muestran de forma íntegra y expresa en los cortes y preparaciones, observándose así sus arborescencias dendríticas y terminales (colaterales axónicos) de forma clara e independiente. Es suya la afirmación «la selva adulta resulta impenetrable e indefinible ¿porqué no recurrir al estudio del bosque joven..?». ».

OBRA NEUROHISTOLÓGICA

Reivindicación de la individualidad:

NEURONISMO (1888-1890)

Desde el 1^{er} tercio del siglo XIX se sabía que: *Los componentes morfológicos básicos del organismo eran las células* (Teoría Celular planteada por Rudolf Virchow); pero existían controversias acerca del carácter celular de las neuronas, sus extraordinarias formas y la gran extensión de alguna de sus ramas las diferenciaban de las células

de los demás tejidos por lo que muchos las asimilaban, en conjunto, como una red de conexiones protoplasmáticas. De la carencia intelectual en este terreno hizo expresa demanda Cajal al acusar el desconocimiento de la índole de las relaciones entre las prolongaciones más finas de las células nerviosas y la oscuridad que envolvía al estudio de la anatomía microscópica del cerebro.

Santiago Ramón y Cajal sentó las bases de lo que hoy se conoce como Neurociencia (Fig. 1), al demostrar que las células nerviosas son unidades anatómica y funcionalmente independientes, relacionándose entre sí mediante contactos de sus prolongaciones fibrilares, axones y sus arborescencias o dendritas, sin formar una red continua de sustancia sincitial como, hasta entonces, defendía el hegemónico Reticularismo.

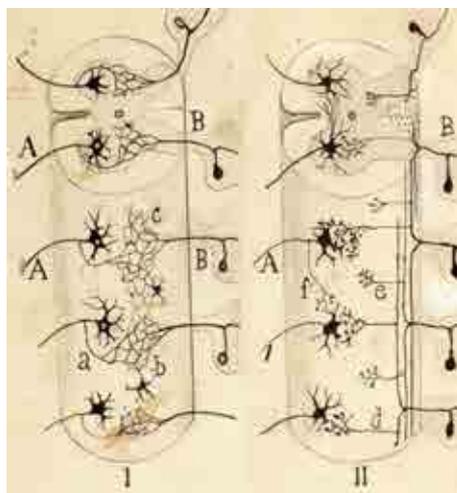


Fig. 1. - Comunicaciones sensitivo-motrices de la médula espinal. I. Visión de Golgi. II. Visión de Cajal (1923)

«La neurona es la unidad histológica y fisiológica del sistema nervioso» sentenciaba con justificada arrogancia Cajal, enunciando así la Teoría Neuronal. El primer trabajo donde se vislumbró este «axioma» de la Histología fue publicado entre 1888 y 1889 bajo el título de *Estructura de los centros nerviosos de aves*, donde demostró mediante un exhaustivo estudio de la estructura del cerebelo que: «las ramificaciones de las neuronas no acababan en la materia gris a modo de redícula difusa sino como arborizaciones libres». Otros territorios que exploró y donde corroboró la individualidad de la neurona fueron la retina y la médula espinal. Estos trabajos constataron que la asociación física y transmisión del impulso nervioso se realiza por contacto, bajo una relación de contigüidad y no de continuidad.

Cajal difundió sus hallazgos en tres artículos en francés que se publicaron durante 1889 y principios de 1890 sin llegar a ocasionar mayor impacto. La causa del desconocimiento sobre la importancia de la publicación de estos artículos radicó en la condición marginal de la actividad científica española en la biomedicina europea de la época, contribuyendo a esto la dificultad que había representado el empleo de la tinción negra de Golgi por parte de la mayoría de los histólogos. Fue en el

Congreso de la Sociedad Anatómica Alemana en 1889 donde Cajal se vale de su ingenio y, más aún de sus preparaciones, para conquistar la confianza de las grandes figuras de la histología, en especial la de Kölliker, maestro de la Escuela Anatómica e Histológica Alemana. Cajal le explica a Kölliker los secretos de la tinción cromoargéntica, y éste realiza sus propias constataciones brindando finalmente su fiel apoyo a la Teoría Neuronal, opuesta a la Teoría Reticularista tan arraigada hasta entonces. Poco después, las demás figuras de la neurohistología europea aceptaban la nueva concepción del sistema nervioso. El Neuronismo constituye una de las mayores aportaciones que ha hecho la ciencia española al progreso de la ciencia general, permitiendo verificar la universalidad del modelo anatómico celularista planteado por la Teoría Celular.

Unidireccionalidad vital: TEORÍA DE LA POLARIZACIÓN DINÁMICA (1891-1892)

Cajal observaba con el microscopio las mismas estructuras que otros histólogos, pero a diferencia de ellos, supo obtener interpretaciones fisiológicas que muchos años después han resultado acertadas. Supo encontrar el poder de lo observado y comprender la lógica natural de funcionamiento mediante una extrapolación a partir de la

organización histológica y características morfológicas de las neuronas. Así, basándose en sus hallazgos sobre las terminaciones libres de los axones como efector en el contacto con los somas neuronales a través del árbol dendrítico, dedujo su teoría de la Polarización Dinámica (Fig. 2). Con ésta explicaba el camino que sigue el impulso nervioso, algo hasta entonces completamente ignorado. Esta teoría fue fruto de los estudios realizados en el año 1892 sobre la retina, el cerebro y los ganglios simpáticos.

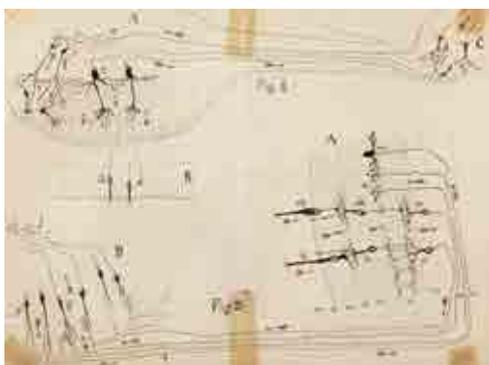


Fig. 2. - Ilustraciones de Cajal con las que expuso la Teoría Neuronal y de la Polarización Dinámica, y que muestran las conexiones nerviosas en las estructuras olfatorias (Fig. 1) y visuales (Fig. 2) (1891)

En la publicación que tituló *Comunicación acerca de la significación fisiológica de las expansiones protoplasmáticas y nerviosas de las células de la sustancia gris*, postulaba: «La transmisión del movimiento nervioso tiene lugar desde las ramas protoplasmáticas hasta el cuerpo celular, y desde este a la expansión

nerviosa. El soma y las dendritas representan un aparato de recepción mientras que el axón constituye el órgano de emisión y repartición». Esta obra fue expuesta por vez primera en el 1^{er} Congreso Médico Farmacéutico de Valencia.

En su estancia en la capital continúa investigando con el método de Golgi la ordenación de otras zonas del sistema nervioso. El resultado general era comprobar, en todas ellas, la Teoría Neuronal y de la Polarización Dinámica. Durante 1896 empezó a utilizar, como complemento a la tinción de Golgi, el método de Ehrlich, que permite la tinción *in vivo* de las fibras y células nerviosas.

Cuestión de empatías:

NEUROEMBRIOGÉNESIS (1892)

Cajal efectuó estudios sobre el desarrollo embrionario del tejido nervioso (Neurohistogénesis) a partir de la médula de aves, comprobando como las neuronas en desarrollo embrionario emitían axones terminados en un extremo cónico, al que denominó *Cono de crecimiento*, a expensas del cual el axón va creciendo. Según él, las células diana segregaban sustancias inductoras o de atracción; así los conos dotados de sensibilidad quimiotáctica se encaminarían hacia su objetivo. En los últimos años se han descubierto varias moléculas, muy conservadas en toda la escala

filogenética, que guían a los axones durante el desarrollo embrionario, ejerciendo efectos atrayentes o repelentes sobre los conos de crecimiento (netrinas, semaforinas, slits, otras). Algunas, como las netrinas, son liberadas o secretadas por neuronas o células gliales.

Un valle de espinas: ESTUDIO DE LA
CORTEZA CEREBRAL (1900)

Especial atractivo tuvo para Cajal el estudio de la estructura de la corteza cerebral. Tras estudiarla en mamíferos inferiores, afronta el examen de la corteza cerebral humana. Estudia cientos de cerebros humanos procedentes de fetos, describiendo los tipos celulares propios de cada región cerebral y las conexiones interneuronales.

Describe, en estos estudios, apéndices o protusiones similares a las espinas de un rosal situadas a lo largo de las dendritas de las neuronas, interpretándolos como puntos de contacto con otras células. Estas estructuras ya las había observado anteriormente en las células de Purkinje del cerebelo, aunque en aquel momento había pensado que eran artefactos fruto de la acumulación de la plata procedente del colorante. Sin embargo, la persistencia de estas estructuras, aún en aquellas preparaciones donde la tinción era sutil, le inclinó a considerarlas como estructuras inherentes a la neurona. Once años más tarde

(1900), antes de la publicación de su magna obra *Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados*, reincidió en la observación de apéndices cortos a modo de espinas nacidas en ángulo recto de las expansiones dendríticas y, terminadas por un engrosamiento elipsoide o redondeado.

Cajal intuyó que las *espinas* serían el lugar donde las dendritas recibirían los impulsos eléctricos generados por los axones (Fig. 3). Actuarían como mediadores dendríticos de la conexión sináptica entre los diversos tipos de neuronas, aumentando la posibilidad de entablar conexiones entre axones y dendritas.



Fig. 3. - Diversos tipos de espinas colaterales de las pirámides cerebrales (1933)

Planteó además que éstas representaban puntas de carga o recepción de corriente, cuya retracción daría origen a la individualización de las neuronas, y que estos cambios anatómicos o fisiológicos traducen en recuerdos más o menos permanentes las experiencias vividas. Constituyó esta conjetura el primer atisbo sobre la Plasticidad Neuronal.

Durante el estudio del sistema nervioso de un gato de un mes de edad, Cajal descubrió proyecciones dendríticas alargadas que diferían de las espinas. Las definía como apéndices, más rectos y largos que las espinas y, sobre todo más dinámicos, dividiéndose y modificando su morfología. Las catalogó como estructuras transitorias, siendo hoy día conocidas como *filopodios*.

En la espesura del bosque:

NEUROHISTOLOGÍA COGNITIVA (1894-1904)

En su obra *Consideraciones generales sobre la morfología de la célula nerviosa* postula que la ontogenia del sistema nervioso reproduce de modo abreviado, con algunas simplificaciones y saltos, su filogenia (desarrollo evolutivo de las especies). Esta obra consiste en una aplicación directa de las leyes biogenéticas.

Cajal planteaba que a lo largo del desarrollo filogenético se advierte la presencia simultánea de un sistema nervioso sensorial y de uno cerebrocortical, perfeccionándose este último no sólo por extensión sino también por diferenciación estructural y morfológica de sus elementos. Para Cajal: «La excelencia intelectual no depende de la talla o caudal de las neuronas si no de la elaboración y copiosidad de sus apéndices de conexión o, en otros

términos, de la complejidad de sus vías de asociación».

Durante este período es invitado a la *Croonian Lectura* por la *Royal Society* británica, donde Charles Scout Sherrington, máxima figura de la neurofisiología del siglo XX y su grupo lo nombran Doctor Honoris Causa por la Universidad de Cambridge.

En 1904 termina su obra *Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados*, el tratado científico más importante, por su extensión y aportaciones originales, que se ha realizado en España. Constituye además, la obra más completa sobre la anatomía microscópica del sistema nervioso que se ha publicado a escala mundial. En esta colosal síntesis, Cajal alcanza brillantemente, mediante el método de Golgi, la meta que se había propuesto con el análisis sistemático de todos los territorios del sistema nervioso.

ESTRUCTURA CITOLÓGICA DE LA CÉLULA NERVIOSA: Protocolos de tinción

Nuevos métodos de tinción del tejido nervioso, ideados por el propio Cajal, le permitieron abrir novedosas brechas en sus investigaciones. En 1903 comienza a emplear de manera sistemática el método del nitrato argéntico reducido (partiendo del «Proceder Fotográfico» de Luis Simarro, donde la preparación es inmersa directamente en nitrato de

plata). Esta técnica le permitió estudiar las *neurofibrillas*; una red de finas fibras situadas en el interior de las neuronas, ubicándolas exactamente en el soma y arborizaciones pericelulares. Cajal logra proferir el golpe final al reticularismo, cuyos seguidores sostenían que la continuidad, a modo de red, de los elementos nerviosos eran intraneuronales, a través de los entramados de neurofibrillas.

Otros métodos de su invención desarrollados entre 1912 y 1913, como el proceder del Oro Sublimado, que permitió resolver el problema de la impregnación de un tipo de neuroglía que compone el tejido de sostén de los centros nerviosos, lo que resultaría decisivo en las investigaciones sobre la glioarquitectura. El método del uranoformol, permitió visualizar con detalle la posición y conexiones del complejo de Golgi.

Dentro del contexto científico español de la época, es importante subrayar que el avance en investigación y experimentación, se hallaba estancado debido a la falta de apoyo por parte de las instituciones académicas y el difícil acceso a los escasos laboratorios. Esta situación generó que Cajal y otros investigadores trabajaran en laboratorios poco dotados. Además, la mayoría de sus publicaciones eran en castellano, por lo que sus descubrimientos no alcanzaban gran

difusión, dificultando así la validación de sus teorías por parte del gremio científico europeo.

Finalmente, los intentos de Cajal por divulgar su obra fructificaron en 1889, en el Congreso de la Sociedad Alemana de Anatomía de Berlín, donde recibió el primer gran impulso por parte de las grandes figuras del estudio histológico europeo. Es galardonado en 1901, con el Premio Nacional de Moscú, a partir de cuya concesión el gobierno español conoció su labor investigadora y creó para él el Laboratorio de Investigaciones Biológicas. De este modo Cajal se rodeó de colaboradores y discípulos dando así origen a la Escuela Española de Neurohistología.

En 1906, Santiago Ramón y Cajal recibió el Premio Nobel conjuntamente con Camilo Golgi, coincidiendo con la crisis de la teoría neuronal, que Cajal verificó nuevamente «elaborando preparaciones irreprochables mediante la impregnación con nitrato de plata reducido».

Fallece en 1934 tras publicar *El mundo visto a los 80 años*.

ECLEPTICISMO VOCACIONAL: OTRAS VOCACIONES

Además de los estudios histológicos, Ramón y Cajal exploró otros campos como el dibujo, la fotografía o la literatura, entre otros. Demostrando que

fue una persona de extensa cultura y con capacidad para tratar temas de índole diferente a la ciencia pero que supo aplicar a su labor científico-experimental.

FOTOGRAFÍA: En 1918 obtuvo imágenes microscópicas en tres dimensiones de células nerviosas con sus prolongaciones fibrilares situadas en diferentes planos focales. Además sus conocimientos sobre la estructura de la retina de aves y reptiles, le fueron de gran utilidad para su estudio fotográfico.

VOCACIÓN ARTÍSTICA: Las reproducciones microscópicas del tejido nervioso en sus publicaciones científicas constituyen un claro ejemplo de su habilidad para el dibujo. Cajal defendió que «los estudios morfológicos, histológicos, anatómicos y embrionarios serían incomprensibles sin el arte del diseño».

LITERATURA: Además de un consumado lector, Cajal fue autor de obras que alcanzaron la calidad y el éxito necesarios para que en 1905 fuese elegido académico de la Real Academia Española de la Lengua.

En su publicación *Reglas y consejos sobre la investigación científica. Los tónicos de la Voluntad* (1987), pretendía orientar pedagógicamente a jóvenes investigadores en cualquier campo del saber científico. Además expone las causas del retraso científico que

padecía España, aportando ideas para solucionarlo.

En *Recuerdos de mi vida* (1901) cuenta como se desarrolló su infancia y juventud, y como inició su labor científica. Su última obra «El mundo visto a los 80 años: Impresiones de un Arteriosclerótico» (1934), narra los cambios durante la evolución de la sociedad en la que se vio incluido.

EPÍLOGO

Es importante resaltar que la figura de Santiago Ramón y Cajal ha sido mitificada por muchas personalidades como un «autodidacta» milagroso o de origen espontáneo, en una época en la que la ciencia no estaba en su mayor apogeo. En contraposición, Cajal nunca negó su reconocimiento y agradecimiento a todos aquellos que intervinieron en su formación, tanto a profesores de universidades oficiales (Luis Simarro y Maestre de San Juan), como a grupos científicos de vanguardia que contaban con laboratorios de anatomía microscópica como el Museo Antropológico de Pedro González de Velasco; donde se instalaría a principios del siglo XX el laboratorio en el que trabajaron Cajal y sus discípulos. Es necesario conocer que en España existía una arraigada tradición neurohistológica antes de la aparición de Santiago Ramón y Cajal, que obviamente proliferó después de la

revolución que representaron sus teorías. Teorías que modificarían el estudio del sistema nervioso para siempre. Los estudios del aragonés han devenido, a la larga, en la fundamentación y desarrollo de las nuevas divisiones, cada vez más específicas, del estudio del sistema nervioso, como la neurobiología (ofrece una visión integrada entre la biología molecular, celular e histología del sistema nervioso), la neuropsicología (doctrina de cariz mayoritariamente antropocéntrico que busca desentrañar la relación entre la estructura y fisiología del sistema nervioso central y los procesos psicológicos, pautas de comportamiento y conductas superiores). Ambas disciplinas convergentes, en último término, en un grupo multidisciplinar de ciencias denominado neurociencia (estudio global de la estructura, función, desarrollo, química, farmacología y patología del sistema nervioso).

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, L. 2003. Cajal y su legado. *Mente y Cerebro*, 3: 90-93.
- CAJAL Y LA CONSCIENCIA. CONFERENCIA INTERNACIONAL EN HOMENAJE A SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. 2005. <http://cajal.unizar.es>.
- CARPINTERO, H. 2004. Psicología y cerebro. La tradición española. *Mente y Cerebro*, 9: 80-86.
- GOBIERNO DE ARAGÓN. SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL, 150 ANIVERSARIO DE SU NACIMIENTO. 2005. www.aragob.es/culytur/rcajal/pres.htm
- LÓPEZ-PIÑEIRO, J.M. 1993. Cajal y la estructura histológica del sistema nervioso. *Investigación y Ciencia*, 197: 6-13.
- LÓPEZ-PIÑEIRO, J.M. 2003. Retrospectiva: El punto de partida de la obra neurohistológica de Cajal. *Mente y Cerebro*, 1: 6-7.
- OBRA SOCIAL CAJA MADRID. 2003. *Catálogo de la exposición Santiago Ramón y Cajal (1852-2003)*. Ciencia y Arte. Madrid.
- PORTERA-CAILLIAU, C. & YUSTE, R. 2004. Espinas y filopodios en el cerebro. *Mente y Cerebro*, 9: 10-21.
- WIKIPEDIA, LA ENCICLOPEDIA LIBRE. SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL. 2005. http://es.wikipedia.org/wiki/Santiago_Ram%C3%B3n_y_Cajal