



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Arte y Ciencia:
Consideraciones Artísticas sobre los Dibujos Histológicos
de Santiago Ramón y Cajal

D. José Meseguer Peñalver
2014

RESUMEN

La presente tesis se propone como objetivo primordial, el estudio de las relaciones entre arte y ciencia, a través de los dibujos histológicos realizados por Santiago Ramón y Cajal, durante sus estudios sobre la estructura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Para ello, primeramente se ha procedido a establecer su perfil personal, científico y artístico.

A continuación hemos consultado y analizado información contenida en las fuentes bibliográficas, para establecer una base de conocimiento sobre las relaciones históricas entre el arte y la ciencia, a través del dibujo y de la imagen, como medios de ilustración, que han sido empleados por la ciencia a lo largo de la historia. Además, se pone en consideración la evolución de las técnicas para crear las imágenes objeto de la ilustración científica, los procedimientos de observación de la realidad, para la elaboración de dichas imágenes, así como la evolución acontecida en el proceso creativo de las mismas.

Apoyándonos en todo ello como base de conocimiento, hemos procedido a abordar el estudio de los dibujos histológicos sobre el sistema nervioso, realizados por Cajal, con una perspectiva exclusivamente artística. Para llevar a cabo dicho estudio, hemos recurrido tanto a fuentes indirectas, presentes en la literatura, como a visionar los propios dibujos, que se encuentran en el Museo Cajal, del Instituto Cajal, del Consejo Superior de investigaciones científicas de Madrid, como fuente directa de información.

A continuación, tomando como base nuestra propia experiencia en el laboratorio de Histología, y utilizando la información técnica impresa, se presenta un conjunto de consideraciones básicas sobre las técnicas de laboratorio realizadas por Cajal y otros científicos coetáneos, responsables de la creación del material microscópico, a partir del cual se realizaron los dibujos objeto de nuestro trabajo. Determinados aspectos de estas técnicas y su relación con las técnicas fotográficas analógicas, nos han permitido establecer consideraciones relativas a las formas, colores o naturaleza de los soportes utilizados para la realización de los dibujos de Cajal.

En el apartado de resultados se muestra una selección de dibujos realizados por Santiago Ramón y Cajal. La selección se ha hecho tomando en consideración los diferentes temas científicos a partir de los que fueron realizados los dibujos. El estudio cuidadoso y pormenorizado de estos, nos ha permitido llevar a cabo un conjunto de comentarios relativos a sus características formales (composición, luz, color, temática, etc.), así como sobre el procedimiento artístico creativo y al lenguaje iconográfico de los mismos.

De todo ello se concluye que a las reconocidas cualidades científicas de Cajal, se han de sumar unas sorprendentes cualidades para la creación plástica, que desarrolló dentro del rigor de los criterios de objetividad impuestos por la ciencia, en el campo de la observación microscópica. Estos dibujos constituyen

verdaderos documentos de gran atractivo pictórico, provistos de una extraordinaria sensibilidad y sentido estético. Cajal realizó estos exquisitos dibujos siguiendo la siguiente secuencia: visualización, observación, análisis, síntesis y representación. Se trata de ilustraciones naturalistas de carácter romántico, provistas de sencillez, delicadeza, espontaneidad, precisión y soltura, que sirvieron de base de partida para la neurociencia moderna.

Sin duda, estos dibujos son parte esencial de la obra artística de Santiago Ramón y Cajal, la cual se ve proyectada constantemente hacia el futuro sin perder el nexo con el presente y el pasado próximo. Finalmente, con intención de hacer patente esta proyección y este nexo, como parte y complemento de la presente tesis doctoral, se presenta una instalación de material, que con el título “Imágenes desde la Ciencia” pretende ser una muestra representativa de nuestro recorrido creativo en los campos de la investigación, la docencia y el arte, como parte de la relación arte y ciencia, que es el objetivo de esta tesis doctoral. En ella ofrecemos un conjunto de materiales desarrollados en la Universidad de Murcia como resultado de nuestro trabajo de ilustración científica, al que sumamos material de apoyo docente e investigador y obra pictórica personal.

En definitiva, esperamos haber sido capaces de informar adecuadamente sobre la importancia y enorme calidad artística que poseen los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal. Estos son, exponente y parte esencial de su capacidad de observación, de estudio, de interpretación y de expresión. Estas cualidades, le sirvieron como medio para el desarrollo de una obra de gran riqueza, tanto para el arte como para la ciencia. La perfecta conjunción y armonía entre arte y ciencia en su obra, como medios para proyectar su afán de conocimiento, le impulsaron a conseguir un lugar de honor entre las figuras más brillantes de nuestra historia y de la historia del mundo.



SUMMARY

This thesis aims to achieve, as a main objective, the study of the relationships between art and science, through the histological drawings by Santiago Ramón y Cajal, carried out during his studies on the structure of the neuron and nervous tissue of man and the vertebrates. To do this, first of all has been to establish personal, scientific and artistic profile of Cajal.

We then consulted and analyzed information on bibliographic sources to establish a base of knowledge about the historical relations between art and science, through drawings and images, as a means of illustration, which has been used by science throughout history. It is in consideration, the evolution of the techniques to create images object of scientific illustration, procedures for observation of reality, for the elaboration of such images, as well as their evolution in the creative process.

All this, as a basis of our knowledge, has allowed us to address the study of histological Cajal drawings, with an exclusively artistic perspective. To carry out the study, we have used the literature as an indirect source, and viewing these drawings, which are found in the Cajal Museum, in the Instituto Cajal, of the Consejo Superior de Investigaciones Científicas in Madrid, as a direct source of information.

Then, on the basis of our own experience at the laboratory of histology, and using the technical information from the literature, we present some considerations about the basic laboratory techniques performed by Cajal and other scientists peer, responsible for the creation of microscopic materials from which were made the drawings that are the subject of our work. Certain aspects of these techniques and their relationship to the classical photographic methods, have enabled us to establish considerations regarding forms, colours, or features of the supports used for the realization of the histological Cajal drawings.

The results section shows a selection of drawings by Santiago Ramón y Cajal. The selection has been done at the light of the different scientific topics from which these drawings were made. The careful and detailed study of the drawings of Cajal has allowed us to carry out a set of commentaries to their formal characteristics (composition, light, colour, topic, etc.), as well as the creative artistic procedure and iconographic language of these drawings.

From all this we concluded that the recognised scientific qualities of Cajal, they have add some surprising qualities to plastic creation, developed within the rigour of the objectivity criteria imposed by science in the field of microscopic observation. These drawings are true pictorial appeal documents, provided with an extraordinary sensitivity and aesthetic sense. These exquisite drawings were made by Cajal trough the following sequence: visualization, observation, analysis, synthesis, and representation. They are naturalist illustrations of romantic character, provided of simplicity, sensitivity, spontaneity, precision and ease, which served as the starting point for modern neuroscience.

These drawings are an essential part of the artistic work of Santiago Ramón y Cajal, which is projected towards the future without losing the link with the present and near past. Finally, with the aim of follow this projection and this link, as a part and complement of this doctoral thesis, we presents an installation of material, titled “Images from the Science”, which is intended to be a representative sample of our creative work in the fields of the research, the teaching and the art, inside the relation science and art, which is the subject of this thesis. In this installation we offer a set of materials developed at the University of Murcia as a result of our work of scientific illustration, to which we add teaching support material and pictorial personal work.

To conclude, we hope to have been able to adequately inform about the importance and artistic quality of the histological drawings by Santiago Ramón y Cajal. These are, without doubt, exponent and an essential part of its observation, study, interpretation and expression abilities. These qualities, served him as a means for the development of a work of great wealth, both art and science. The perfect combination and harmony between art and science in his work, as a means to project their knowledge desire, pushed Cajal to get a place among the most brilliant figures of our history and the history of the world.



INTRODUCCIÓN

Entendemos que el dibujo científico es uno de los aspectos que posiblemente ha recibido menos atención en el mundo del arte. Se trata de una de las facetas propias del arte y de la ciencia, que ha despertado nuestro interés personal, y que hemos practicado de modo activo, durante un largo periodo de casi cincuenta años, comprendido entre el año 1965 y el momento actual, tanto como actividad de formación en nuestra etapa de alumno de licenciatura, como en nuestra actividad de investigador y de profesor universitario.

Nuestra labor en el campo de la Biología Celular, nos ha permitido la práctica del dibujo científico, tanto en lo relativo al desarrollo y creación de dibujos, derivados de la propia experimentación y observación, como para la ilustración de nuestros artículos científicos, o en la confección, copia y reproducción de dibujos de otros autores, utilizando como soporte tanto el papel como el acetato o la pizarra, para la preparación y desarrollo de nuestras clases presenciales y seminarios docentes.

Pero, en etapas recientes, al finalizar nuestra licenciatura en Bellas Artes, en el año 2010, tras adquirir formación técnica e impregnado del ejemplo creativo de nuestros profesores, ha sido cuando hemos llegado a tomar consciencia, entre otras muchas cosas, de la importancia y significado de la relación entre arte y ciencia, a través del dibujo y la producción de imágenes gráficas.

Por otra parte, en España, uno de los campos científicos de mayor proyección en la Biología y la Medicina es el de la Anatomía Microscópica del Sistema Nervioso, debido a la obra del insigne científico y premio Nobel de medicina Santiago Ramón y Cajal.

Si bien, a lo largo de nuestra labor científica y docente hemos tenido la oportunidad de contactar y conocer ampliamente la obra científica de este ilustre personaje, es desde nuestra iniciación en el campo del arte, cuando consideramos que hemos obtenido capacidad para abordar consideraciones artísticas relativas a sus dibujos histológicos, debido a la adquisición de un mejor conocimiento de la magnitud y proyección artística del dibujo como técnica, y de modo especial en el caso de su aplicación y relación con las ciencias de la vida. Todo ello gracias a la labor formativa de mis profesores de dibujo de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Murcia.

Ocasionalmente se ha hecho referencia en diferentes estudios, y de modo fragmentado, a los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal como parte de su actividad científica, pero se trata de una de las facetas menos conocidas como parte de su obra artística, aunque no por ello debe ser considerada la menos importante.

Nos ha sido posible obtener un contacto definitivo, casi exhaustivo, con los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal, en el Instituto Cajal, lugar en el

que se encuentra gran parte de su legado, así como a través de diferentes publicaciones y textos, tanto científicos como divulgativos.

Por otra parte, también nos ha sido posible obtener la experiencia privilegiada, de poder comparar dichos dibujos con la realidad observable al microscopio, gracias a nuestra formación en técnica histológica, en particular en las técnicas micrográficas del sistema nervioso, las cuales tuvimos oportunidad de aprender y desarrollar bajo la tutela de algunos de los discípulos, en segunda generación, del insigne premio nobel, tales como los Doctores Don Vicente Alcober Coloma, Catedrático de Citología e Histología de la Facultad de Biología de la Universidad de Valencia, Don Antonio Llombart Rodríguez, Catedrático de Histología y Anatomía Patológica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Valencia y a los Doctores Don Alfredo Carrato Ibáñez, Catedrático de Citología e Histología de la Facultad de Biología de la Universidad Complutense de Madrid y Director del Instituto Cajal del CSIC y Don Ricardo Martínez Rodríguez, Jefe del Departamento de Neurohistoquímica del Instituto Cajal del CSIC. De ellos aprendí y con ellos practiqué dichas técnicas durante estancias y cursos de formación en los citados centros.

Sobre la base de nuestra experiencia previa, nos hemos propuesto desarrollar, en esta tesis doctoral, un estudio de las características artísticas de los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal, a la luz de una revisión previa de la evolución histórica del dibujo científico. Así mismo, nos proponemos realizar algunas reflexiones, relativas a los aspectos técnicos que fueron determinantes en el desarrollo de estos dibujos, teniendo en cuenta la gran incidencia de la propia técnica del dibujo, la técnica de la microscopía óptica y la técnica fotográfica, las cuales condicionaron la observación en ese momento histórico.

Tuvieron particular importancia en el periodo histórico de la vida de Cajal, las técnicas de revelado y positivado fotográfico, esenciales para comprender determinados aspectos de la elaboración de las preparaciones microscópicas, sobre las que Cajal desarrolló sus observaciones y sus dibujos histológicos.

Es imprescindible tener en cuenta que, durante el periodo de actividad científica de Cajal, etapa comprendida entre mediados del siglo XIX y el primer tercio del siglo XX, el mundo sufrió una serie de cambios profundos que determinaron la aparición de nuevas tendencias y estilos artísticos. Además, los descubrimientos técnicos en el campo de los medios visuales y de la observación, tales como el daguerrotipo o la cinematografía, se convirtieron en la base para el desarrollo de una nueva concepción plástica de la imagen.

Cajal participó de estas tecnologías realizando algunas contribuciones en este campo. Tecnologías que condicionaron sus creaciones, y de modo más concreto, sus resultados científicos y sus dibujos, confiriéndoles un estilo propio e inconfundible.

Es sabido que el conocimiento de dichas técnicas, en gran parte fue adquirido por Cajal de modo autodidacta, mediante una gran dedicación a la observación directa y minuciosa, unida a una importante actitud crítica.

Por el contrario, su formación y destreza como dibujante fue adquirida a lo largo de su vida, primero como alumno de prestigiosos profesores conocedores de esta faceta del arte y más tarde, mediante la práctica atenta y continuada del dibujo tanto artístico como científico.

En lo que se refiere a sus dibujos histológicos, en modo alguno nos proponemos, con el presente trabajo, realizar un análisis pormenorizado e individual de cada uno de los dibujos realizados por Santiago Ramón y Cajal, ni el establecimiento de un catálogo de los mismos. Pretendemos, más bien, la consideración de ellos en conjunto, como obra plástica, aspecto que no ha sido objeto de tratamiento hasta el momento. Tenemos el convencimiento y la esperanza de que la información que aportamos, en esta tesis doctoral, sea completada en futuros estudios.



OBJETIVOS

Como objetivo general de esta tesis doctoral, nos proponemos el estudio de las relaciones entre arte y ciencia a través de los dibujos histológicos, realizados por el insigne científico y premio Nobel Santiago Ramón y Cajal, sobre el sistema nervioso del hombre y de los vertebrados.

Este objetivo general queda desglosado en los siguientes objetivos particulares:

1. Establecer una serie de notas bibliográficas básicas sobre el perfil de Santiago Ramón y Cajal como persona, como científico y como artista, prestando especial atención a sus actividades como dibujante y como fotógrafo.

2. Realizar una revisión, de la información encontrada, sobre el dibujo científico como medio de ilustración científica, en cuanto a conceptos, normas, desarrollo histórico, evolución de las técnicas, de los procedimientos de observación y del proceso creativo de imágenes.

3. Analizar determinados aspectos de las técnicas microscópicas y fotográficas, que fueron determinantes en el desarrollo de los dibujos histológicos de Ramón y Cajal, y que condicionaron la observación en ese momento histórico.

4. Seleccionar un grupo de dibujos representativos de los principales apartados de la obra histológica de Cajal sobre el sistema nervioso del hombre y de los vertebrados, que serán utilizados como base para el desarrollo de su estudio descriptivo y artístico, desde la perspectiva de la relación entre arte y ciencia.

5. Estudiar y comentar los dibujos seleccionados, a la luz de la literatura consultada, para obtener una visión de conjunto de las cualidades artísticas y científicas de los dibujos histológicos de Cajal.

6. Desarrollar labor expositiva de una muestra de objetos relacionados con la ilustración científica, representativa de nuestra producción creativa, relativa a este tema, en los campos de la investigación, la docencia y el arte.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado se presenta el resultado de una estricta labor de síntesis de la información, a la que hemos sido capaces de acceder, sobre Santiago Ramón y Cajal, personaje central de nuestro trabajo, y sobre el dibujo científico como base de la ilustración científica, dentro de la relación entre arte y ciencia. Somos conscientes de que, en este apartado de nuestra tesis doctoral, hemos resumido un contenido que sería suficiente para desarrollar varios textos. Ello ha sido posible procurando abordar solamente los aspectos que hemos considerado esenciales e imprescindibles, siempre desde la perspectiva absolutamente rigurosa y honesta de los objetivos propuestos.

I. SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL

1. Breve reseña biográfica

Santiago Ramón y Cajal nació en Petilla de Aragón (Navarra) en 1852. Durante su infancia cambió varias veces de residencia. Junto a su familia abandonó Petilla de Aragón para fijar su residencia en Larrés (1854), y posteriormente en Ayerbe (1860). Desde pequeño, mostró aptitudes para las artes plásticas, y de modo particular para el dibujo (1). Realizó los estudios de bachillerato en el Instituto de Huesca, los cuales fueron concluidos en un momento de gran agitación social (Destierro de Isabel II y Primera República). Estudió medicina en la Universidad de Zaragoza, licenciándose en medicina en 1873. Fue llamado a filas a los 21 años. Fue destinado como médico a Lérida. En esta época, Cuba luchaba por su independencia de España. En 1874 fue destinado a Cuba como Capitán del Ejército español (2, P1) (Figs. 1 y 2).

Cajal se sintió inmediatamente atraído por la naturaleza y los jardines de La Habana, así como por su flora tropical en general. Fue enviado primero a la enfermería de Vistahermosa, en el centro de la provincia de Camagüey, donde cayó enfermo de paludismo. Tras una convalecencia inicial en Puerto Príncipe, fue enviado a la enfermería de San Isidro, con peores condiciones sanitarias que la primera. Finalmente regresó a España el año 1875 (3).

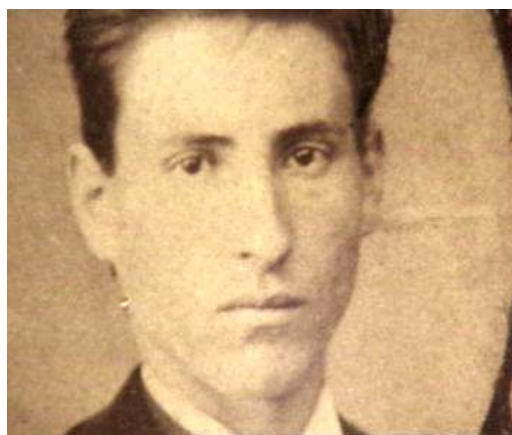


Fig. 1. Retrato de Cajal como médico militar (P1) Fig. 2. Retrato del joven Cajal (P2).

En 1875 comenzó el doctorado. Se doctoró en 1877, a los 25 años. Adquirió con medios propios su primer microscopio en 1876. Ese mismo año obtuvo una plaza de “Ayudante de Guardias” y apoyó a su padre, en su labor de cirujano del Hospital Nuestra Señora de Gracia de Zaragoza. En 1879 obtuvo la plaza de Director de los Museos Anatómicos de Zaragoza. Ese mismo año contrajo matrimonio (3, 4).

En 1883 ganó la Cátedra de Anatomía Descriptiva de la Facultad de Medicina de Valencia y el año 1885 dedicó parte de sus estudios científicos a estudiar la epidemia de cólera que azotó dicha ciudad. En 1887 se trasladó a la Universidad de Barcelona, a la recién creada cátedra de Histología en la Facultad de Medicina. El año más importante de su vida, tal como él mismo indica en sus memorias, fue 1888, durante el cual descubrió los procesos de relación entre las neuronas del sistema nervioso, postulando la individualidad de la célula nerviosa, confirmando de este modo la Teoría Celular en todos los tejidos de los organismos vivos. Esta teoría fue aceptada el año 1889, en el Congreso de la Sociedad Anatómica Alemana de Berlín. Su teoría fue completada en sus estudios sobre plasticidad neuronal y polarización dinámica, con la presentación de un modelo para explicar la transmisión unidireccional del impulso nervioso (5, 6) (Figs. 3 y 4).

En 1892 ocupó la cátedra de Histología e Histoquímica Normal y Anatomía Patológica de la Universidad Central de Madrid (Fig. 4). En 1902 consiguió la creación de un Laboratorio de Investigaciones Biológicas. En este laboratorio trabajó hasta 1922, año en el que continuó su labor en el Instituto Cajal y hasta su muerte el año 1934 (3, 7).

Entre los años 1897 y 1904 publicó por fascículos, su magnífica obra “*Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*” (8).



Fig. 3. Retrato de Santiago Ramón y Cajal. Visita a los Estados Unidos en 1899. (Clark University Archives) (P3).



Fig. 4. Autorretrato de Cajal mirando al Microscopio. Legado Cajal. Instituto Cajal (CSIC). Madrid (P4).

Cajal mostró grandes dotes artísticas a través de numerosas obras fascinantes en el campo del dibujo, la pintura y la fotografía. Si bien, parte de los dibujos realizados por Cajal fueron soporte de sus publicaciones científicas y de su actividad docente universitaria, son de destacar los dibujos de su *“Gran Atlas Anatómico”* que junto a su vasta producción fotográfica, nunca fueron objeto de publicación (4, 9, P5).

Consiguió numerosas distinciones, premios e invitaciones tales como la Medalla Helmholtz, el Premio Nacional de Moscú, los nombramientos de Doctor Honoris Causa de las universidades de Clark, Boston, la Sorbona y Cambridge. En 1901 se creó, a instancias de Cajal, el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, que dio origen a la Escuela Española de Neurohistología. Fue nombrado marqués de Ramón y Cajal a título póstumo en 1952 (10).

En 1906 su labor y su gran aportación a la neurociencia se vieron reconocidas de modo universal, con la concesión del premio Nobel de Física o Medicina, compartido con el médico italiano Camilo Golgi (1877-1887), cuyo método de tinción aplicó y modificó creando diferentes variantes y métodos nuevos. Tras la concesión del premio, Cajal publicó diferentes obras literarias y biográficas, así como sus importantes resultados, en la obra *“Estudios sobre la degeneración del sistema nervioso”* Santiago Ramón y Cajal murió en octubre de 1934, poco después de publicar su conocida obra autobiográfica *“El mundo visto a los ochenta años”* (3).

2. Cajal y la Ciencia

La información disponible sobre la estructura y funciones del sistema nervioso, es el resultado de investigaciones numerosas, a las que Santiago Ramón y Cajal contribuyó de forma decisiva. Sus variadas aportaciones pueden ser agrupadas según tres etapas. Una primera etapa, previa al conocimiento del método de Golgi (1877-1887), durante la que llevó a cabo estudios de carácter general relativos a la Histología y a la Microbiología (Fig. 5) (P5, P6, P7). En una segunda etapa (1887-1903), mediante el conocimiento y aplicación del método de Golgi, estudió la estructura de la célula nerviosa y los circuitos nerviosos, sentando los fundamentos de la teoría de individualidad de la neurona, que sirvieron para confirmar la teoría celular en el tejido nervioso. Además, aportó conocimientos esenciales sobre el desarrollo del sistema nervioso. Durante la tercera etapa (1903-1934) publicó importantes resultados sobre la regeneración y la degeneración del sistema nervioso, utilizando principalmente su propio método de tinción (Técnica del nitrato de plata reducido). Sus aportaciones y sus métodos de laboratorio tuvieron una influencia decisiva en los investigadores de su época. Las aportaciones de todos estos investigadores unidas a los descubrimientos de Cajal sirvieron para sentar las bases de las investigaciones más actuales sobre la estructura y la función del sistema nervioso. Los trabajos de Cajal son un referente para las publicaciones científicas posteriores en este campo de las ciencias (11, 12, 13, P5).

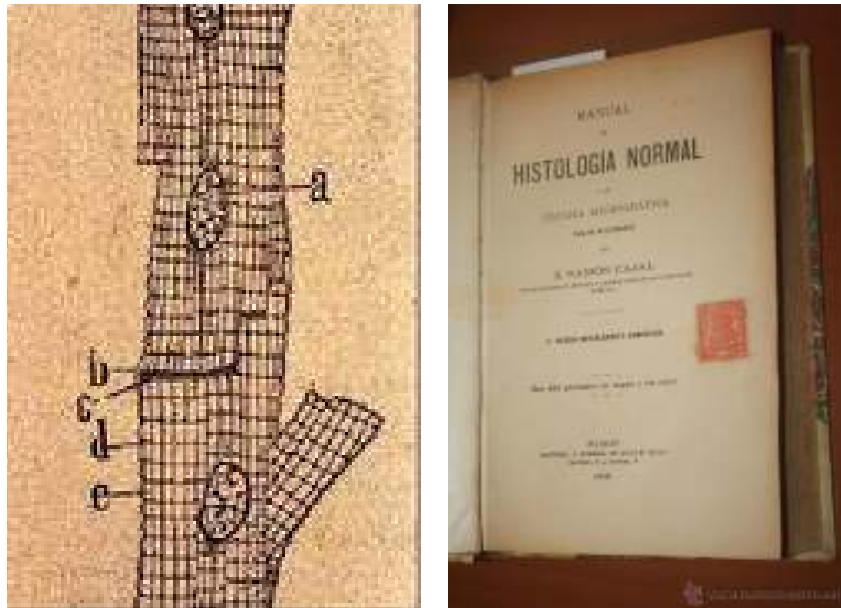


Fig. 5. Dibujo de fibras musculares del corazón de la vaca, teñidas con cloruro de oro (P6). Fotografía de contraportada. Manual de Histología Normal y de técnica micrográfica (P7).

Por todo lo indicado, Santiago Ramón y Cajal es considerado el fundador de la Neurobiología moderna (14). Su ya indicada capacidad y maestría en el uso y creación de variantes del método de tinción de Camilo Golgi (15), le permitieron el estudio y descripción de la estructura microscópica del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Sus trabajos permitieron enunciar de modo universal la “Teoría neuronal” según la cual, también el sistema nervioso está formado por células (16, 17).

Una de las aportaciones más significativa de Cajal es que las neuronas, como células individuales, están funcionalmente polarizadas, de modo que a su través se propagan impulsos eléctricos, que se desplazan desde las dendritas (prolongaciones más cortas de la neurona), hacia el cuerpo de la neurona (soma), y desde este, a la prolongación celular principal (axón). Además, Cajal descubrió la existencia de “espinas” en la superficie de las dendritas, que son estructuras microscópicas especializadas en la comunicación entre neuronas. Su doctrina científica le convirtió en un personaje de la importancia de Galileo, Newton o Darwin (17).

También describió el proceso de crecimiento del axón durante el desarrollo del sistema nervioso, guiado mediante un mecanismo basado en gradientes químicos (quimiotaxis), proceso que tiene lugar durante la regeneración del axón neuronal (18). Finalmente, es obligado recordar sus importantes contribuciones al campo de la fotografía en color y al de la patología de varias enfermedades infecciosas, tales como el cólera o el cáncer (19, 20). Cajal compartió el premio Nobel en Fisiología o Medicina con Camilo Golgi en reconocimiento a sus trabajos sobre la estructura del sistema nervioso.

Con el siglo XIX devinieron progresos importantes en la óptica y en la tecnología microscópica, especialmente en la producción de lentes acromáticas que vinieron a corregir las aberraciones cromática y esférica, permitiendo una mejor

observación de la estructura de los tejidos biológicos. Teodor Schwann (1810-1882) y Matthias Jakob Schleiden (1804-1881) enunciaron que los tejidos animales y vegetales están formados por células (21). Rudolf L. K. Virchow (1821-1902) completó esta información, siendo entonces enunciado que todos los seres vivos están formados por células, las cuales son la unidad de su estructura y función, las cuales proceden unas de otras por división. Esta es la denominada “Teoría Celular” (22)

La teoría celular fue aceptada progresivamente excepto para el sistema nervioso, en el que la complejidad estructural y la limitación técnica hacía difícil la caracterización anatómico-microscópica de sus células. En esos momentos prevalece la idea de que el sistema nervioso está organizado como una red formada por fibras nerviosas (teoría reticularista) (23). Algunos autores sugirieron que la Teoría Celular debería hacerse extensiva al tejido nervioso pero no fueron capaces de demostrarlo (24).

Cajal tuvo la oportunidad de ver por primera vez preparaciones microscópicas en el laboratorio del doctor Aureliano Maestre de San Juan (1828-1890). Inmediatamente decidió crear su propio laboratorio en Zaragoza para el desarrollo de las técnicas de preparación microscópica. Sus primeros estudios fueron dedicados a la inflamación, anatomía muscular y a la microbiología (19, 25).

La creación de un método de coloración eficiente, para hacer visibles los componentes celulares del sistema nervioso, tuvo lugar gracias a Camilo Golgi (1843-1926), que descubrió un método histológico para impregnar tejidos, que era capaz de teñir la célula nerviosa completa, la cual se ve recubierta por un fino precipitado opaco, marrón oscuro o negro, de cromato de plata. Esto dio origen a la denominación de “Reacción negra” (15).

En 1887 Cajal visitó en Madrid el laboratorio del psiquiatra Luis Simarro, quien le mostró algunas preparaciones realizadas con el método de Golgi (Fig. 6). De inmediato quedó impresionado por la calidad de las preparaciones y decidió utilizar este método en su laboratorio. Consciente de la inconstancia del método, se dedicó a trabajar para mejorarlo, constatando que con una doble impregnación y diferentes tiempos de tratamiento se obtenían mejores resultados. El método mostraba dificultades para teñir el axón debido a su vaina envolvente, por lo que decidió aplicar el método en animales jóvenes. Esta práctica recibió el nombre de método ontogénico, el cual había sido utilizado previamente en estudios sobre el desarrollo animal (24). A partir de este momento, dispuso de las herramientas necesarias para abordar el estudio de la estructura del sistema nervioso. En momentos de una paz amenazada, editó y financió su propia revista científica, la “Revista trimestral de Histología normal y Patológica” llegando “su gran año..., su año de fortuna...” (4).



Fig. 6. Luís Simarro trabajando en su laboratorio con sus discípulos.
Joaquín Sorolla. (1897). Museo Sorolla. Madrid (P8).

En 1888 Cajal inició el estudio sistemático del sistema nervioso cuyos resultados le llevaron a retar la teoría reticularista de Gerlach, basado en sus observaciones de preparaciones microscópicas teñidas con el método del cloruro de oro. Los resultados esenciales fueron obtenidos entre 1888 y 1894 y fueron publicados en su propia revista (26). Entre esos resultados destacan los siguientes: a) que los axones terminan libremente en el tejido nervioso y en la retina; b) la existencia de expansiones citoplásmicas microscópicas, denominadas “espinas dendríticas”, de varios tipos morfológicos; c) descripción de la presencia de un “cono de crecimiento”, en el extremo del axón en crecimiento y desarrollo, que permite la conexión entre neuronas; d) la hipótesis de “polarización dinámica” de la neurona relacionada con la orientación de las neuronas en el tejido nervioso, la retina, el bulbo olfatorio, etc. (26, 27, 28). Todos estos descubrimientos se encuentran recogidos en su obra magna *“Textura del sistema nervioso del hombre y los vertebrados”* (8, P3).

Todo lo anterior permitió a Ramón y Cajal confirmar la teoría celular en el tejido nervioso y como consecuencia se pudo hacer extensiva a todos los tejidos de los seres vivos (29).

Finalmente, son también de destacar sus ideas sobre la regeneración nerviosa, las cuales están estrechamente relacionadas con sus descubrimientos sobre cómo crecen y maduran las neuronas durante el desarrollo; también lo son sus referencias a la plasticidad del cerebro y de la médula espinal (30, 31).

Como se ha indicado anteriormente, no solo se dedicó al estudio del sistema nervioso, sino que publicó importantes trabajos sobre diferentes enfermedades infecciosas tales como la rabia, la sífilis, la lepra o el cólera, que quedaron recogidos en su libro *“Manual de anatomía patológica general y de bacteriología patológica”* También son destacables sus estudios sobre el cáncer (32, P3).

Sus conocimientos fueron transmitidos no solo a través de sus publicaciones, sino que ejerció como profesor en varias universidades españolas, lo cual hizo posible la diseminación de sus conocimientos entre personas de diferentes generaciones, despertando importantes vocaciones en colaboradores que han constituido, junto a él, la denominada “Escuela Histológica Española” (33).

3. Cajal y el Arte

Desde su infancia Santiago Ramón y Cajal se ve impulsado hacia el uso del lenguaje visual como método para memorizar lo que ha de aprender, sintiendo la necesidad de dibujar o pintar los objetos que observa y estudia, para poder comprenderlos en toda su complejidad y, también, para satisfacer su curiosidad de niño. De este modo, el mundo de la imagen se transforma en una base esencial de su proceso formativo. Según el propio Cajal, el sentido de la vista es el que posee más desarrollado, declarándose admirador de la luz como responsable de los colores y los fenómenos observables (7).

Desde una perspectiva sociológica, es sabido que, según la concepción clásica, todo artista pretende perdurar a través de sus obras, y que precisa del reconocimiento de los demás. Este tipo de compensación, que le fue negado en el ámbito familiar, fue buscado y obtenido, a edad temprana, entre sus compañeros de colegio, desde su etapa de adolescente, al darse cuenta del poder de admiración que causaban sus obras. Aprendió que su poder de comunicación visual a través del dibujo, le permitía ponerse en conexión con su entorno y con sus compañeros. Descubrió en la naturaleza un conjunto de objetos, así como la posibilidad de actuar sobre ellos, e incluso de dominarlos mediante su representación. En este sentido, Cajal encontró en la caricatura, además de una práctica divertida y de reconocimiento por parte de su grupo de amigos, un medio de representación plástica íntimamente relacionada con los personajes de su entorno. Es a través de ella como, según nos indica el mismo, descubre los principios técnicos del retrato. Practicó la caricatura como un medio de expresión que va más allá de la representación superficial del personaje, adentrándose en el análisis de la psicología de los personajes que dibujaba, tal y como hacían los caricaturistas de su tiempo (P9) (Figs. 7y 8). De este modo, según parece, pues no se conservan sus trabajos, durante esta etapa temprana de su vida, la caricatura formó parte del desarrollo de sus aptitudes artísticas, permitiéndole afianzar su destreza manual para el dibujo. (3, 7).



**Fig. 7. Claustro de médicos y profesores de la
Faculta de Medicina de San Carlos. Madrid.
El primer personaje (derecha) representa a Cajal.
Caricatura de J. Cortiguera (1909) (P9).**



Fig. 8. Detalle de la Fig. 7 (P9).

El quehacer y la producción artística de etapas inmediatas y posteriores, en particular en lo referente a sus pinturas y dibujos artísticos, precisan de las consideraciones de su entorno histórico, además de las referencias personales y familiares ya mencionadas y recogidas en sus memorias. Como artista, se vio influenciado por el movimiento romántico. Como los artistas románticos, se consideró incomprendido, solitario y al margen de la sociedad, desarrollando el gusto por la naturaleza como origen de su inspiración. Quizás uno de los aspectos esenciales que modeló su carácter en este sentido, fue el rechazo e incluso prohibición de las actividades artísticas por parte de su padre, viéndose obligado a crear en soledad y bajo un prisma de incomprensión, de modo que la práctica artística, se convirtió en una vía de escape y de autosatisfacción. Se comunicó con la naturaleza a través de sus obras artísticas, encontrando en los paisajes, como todo autor romántico, la necesidad de reflejar lo que de inmenso, grandioso y sublime tiene la naturaleza frente al hombre (3, 7).

Ramón y Cajal es un autentico paisajista romántico, como lo atestiguan sus obras, las cuales constituyen un verdadero testimonio documental (P10) (Fig. 9). También queda constancia de ello en sus fotografías, en particular las pertenecientes a una época que él mismo denominó de “furor romántico” (3, 34, P11, P12) (Fig. 10).



Fig. 9. Paisaje romántico. Cajal, (1868)
Aguada en tinta china a plumilla sobre papel. (P10)



Fig. 10. Autorretrato juvenil de Cajal.
Época de "Furor romántico" (P11)

Muchas de sus obras son de pequeño formato debido a que su realización supuso un trabajo inicial en soporte papel, en un cuaderno de viaje, en el que desarrolló numerosos bocetos del natural (dibujos, acuarelas y óleos). También confeccionó un "Diccionario pictórico" en el que se mostraba un índice o listado de tonos de color, así como los elementos naturales en los que estos se podían encontrar. De este último, sólo se tiene constancia escrita en las propias memorias de Cajal (3).

4. Cajal y el Dibujo Artístico

La extraordinaria capacidad de Santiago Ramón y Cajal para el dibujo fue el resultado de indudables cualidades innatas, unidas a una concienzuda formación metodológica, y al desarrollo incansable de esta práctica artística. Demostró muy pronto poseer aptitudes para la captación sensorial, y capacidad para el manejo de la técnica artística. A través de sus percepciones sensoriales, tomó conciencia de las diferentes texturas, formas y colores. Él mismo nos indica que, desde los ocho años, siente una necesidad irrefrenable de dibujar todo aquello que ve y puede tocar. Desde muy temprana edad fué consciente de la necesidad de retener de modo intemporal aquello que observaba en la naturaleza (7).

La experiencia creadora surge en él como una necesidad individual y se afianza más tarde y de modo definitivo, con la necesidad de transformar sus observaciones microscópicas en imágenes tangibles permanentes. Se trata de percibir, interpretar y crear (7).

Las sensaciones obtenidas a partir de su contacto con la naturaleza, hacen nacer en él la libertad para explorar, experimentar y compenetrarse con la acción creadora, utilizando cualquier medio técnico de expresión a su alcance, lo cual le proporcionó un laboratorio incomparable para la práctica artística. Dicha práctica supone el uso de métodos muy diferentes y de soportes tan variados como le permite su imaginación, o de aquellos a los que tiene acceso inmediato (papel, paredes, puertas, etc.). El intento de encontrar los materiales y métodos apropiados, le permitieron desarrollar los medios de expresión adecuados para cada caso. Todo ello contribuyó a crear en Santiago Ramón y Cajal una base

formativa para adquirir capacidad y seguridad en si mismo a la hora de configurar sus observaciones, haciendo que pudiera obtener momentos de placentera actividad creadora (7)

Cajal poseía una gran sensibilidad estética innata, la cual le permitió muy pronto intuir que la observación directa del mundo natural es el mejor medio para representar las cosas. La observación visual supuso para él un auténtico reto en cuanto a la plasmación de lo esencial de lo que observaba, así como en lo relativo al dominio de la técnica que se la permitía. Mediante la práctica continuada, aprendió los mecanismos de representación de la realidad. Desde la observación, tomó conciencia de la esencia de los métodos que le permitieron representar aquello que observaba, del modo mas próximo a la realidad, con claro conocimiento de las cualidades de esta (color, volumen, contraste, transparencia, opacidad, armonía, composición, etc.) (P12). Fue así como adquirió práctica y destreza en el manejo de las herramientas del dibujo. Se trata por tanto, de un proceso inicial de formación autodidáctico. Las cualidades innatas y la formación autodidacta inicial serán la base para su formación posterior en el dibujo, de la mano del profesor León Abadías y Santolaria (1836-1894) (P13), el cual se dio cuenta casi de inmediato de los grandes valores de su discípulo. Cajal se dedicó al aprendizaje del dibujo utilizando los métodos que se aplicaban en aquella época en las Academias de Bellas Artes (siglo XIX), consistentes en la copia de estampas de dificultad y complejidad crecientes. Abordó consecutivamente la realización de dibujos mediante copia de las láminas de las “*Cartillas de dibujo*” “*Láminas con dibujos de artistas de renombre*” (35, 36).

Ramón y Cajal inició su proceso formativo copiando sencillos modelos litográficos que representaban partes de la fisonomía humana, según el método que era llevado a cabo por los alumnos de la Escuela de Bellas Artes de San Fernando. Posteriormente se dedicó a copiar cabezas humanas completas en diferentes posiciones y ángulos. La mayoría de estos dibujos estaban realizados siempre a lápiz o sanguina, sobre papel ocre, gris azulado o verdoso y blanco entintado. Lo que se pretendía era que el alumno fuese capaz de imitar las calidades e igualar el trazado del dibujo objeto de la copia (37). Cajal realizó estos dibujos a lápiz, en papel ocre, sacando las luces con tiza blanca. Al final de este periodo de iniciación, abordó la copia de figuras completas y copió láminas conteniendo obras maestras de pintores famosos, de modo similar a como lo hacían los alumnos de los artistas más afamados (38, 39).

Concluido el período de copia de estampas, comenzó a dibujar estatuas de escayola, correspondientes a modelos clásicos. Se trata de un método docente que ha prevalecido a lo largo de la historia en los centros dedicados a la enseñanza de las artes. Lo que se pretende es que el alumno adquiriera dominio de las proporciones y del claroscuro mediante la observación y el dibujo de las figuras que copia, gracias a un análisis visual cuidadoso y repetido (40). Finalmente, procedió a desarrollar dibujos del natural (7) (Figs. 11 y 12).



Fig. 11. Pintura figurativa. Estudio del Natural.
Santiago Ramón y Cajal (1861-1862).
Temple y tinta sobre papel (2, P14).



Fig. 12. Dibujo del perfil de una mujer.
Santiago Ramón y Cajal (1868).
Lápiz graso y tiza blanca sobre papel. (2, P14).

5. Cajal y el Dibujo Científico

Podemos considerar que Cajal desarrolló sus actividades como dibujante científico en dos fases: representación anatómica y representación histológica. Parte importante de ambas fases tuvo objetivos didácticos, y parte de la segunda de estas fases fue realizada en formato mural (7, 41).

5. 1. El dibujo anatómico

La formación de Santiago Ramón y Cajal en el campo de la anatomía humana supuso un medio de formación científica a la vez que de instrucción y ejercicio de sus dotes de dibujante. El estudio minucioso de la anatomía del cadáver le sirvió de medio para ejercitar los conocimientos adquiridos en el terreno del dibujo artístico, dándole la oportunidad de aplicar sus dotes de observación y su destreza en las técnicas artísticas adquiridas. Sobre la base de su formación artística creó una obra de tratado anatómico que le han convertido en uno de los más grandes anatomistas de la historia. Su obra se caracteriza por la belleza y claridad de sus láminas y por la gran calidad de su texto científico (1, P16).



Fig. 13. Fotografía de una clase de disección de Santiago Ramón y Cajal (1915). Gelatinato de obromuro de plata sobre papel (P15)



Fig. 14. Estudio anatómico del cerebro y el sistema nervioso humano. Leonardo da Vinci. (1512). (41).

El proceso de formación de Ramón y Cajal en este campo de la medicina, fue inicialmente trazado por su padre, el Dr. Don Justo Ramón, que es consciente de que su hijo aprende mejor observando que memorizando, y que, conocedor del gusto de este por el dibujo, aprovechó para estimular su gusto por la medicina. Durante su etapa de estudiante de medicina en Zaragoza, su padre ocupaba el cargo de Profesor Interino de Disección del Hospital de Nuestra Señora de Gracia, circunstancia que fue aprovechada para incidir de modo decisivo en su formación anatómica. Dicha formación anatómica tiene su base en la observación directa del cadáver completo o desprovisto del tegumento (Fig. 13), y en las obras de los Padres de la Anatomía (Fig. 14). Cajal se dedica a la representación gráfica de lo que observa y, usando sus magníficas dotes y cualidades de observador y dibujante, fue capaz de crear una obra anatómica provista de las características de una gran obra científica, divulgativa y artística (7, P17).

Reforzó su formación como dibujante en esta etapa, al realizar un profundo y detallado estudio de la figura humana, sus proporciones, expresiones, actitudes y movimientos. Esta información le permitió reproducir innumerables matices expresivos, representando de modo armónico cada una de las partes del cuerpo humano tanto en su anatomía externa como interna (huesos, tendones, músculos, órganos, aparatos y sistemas) (1, 2).

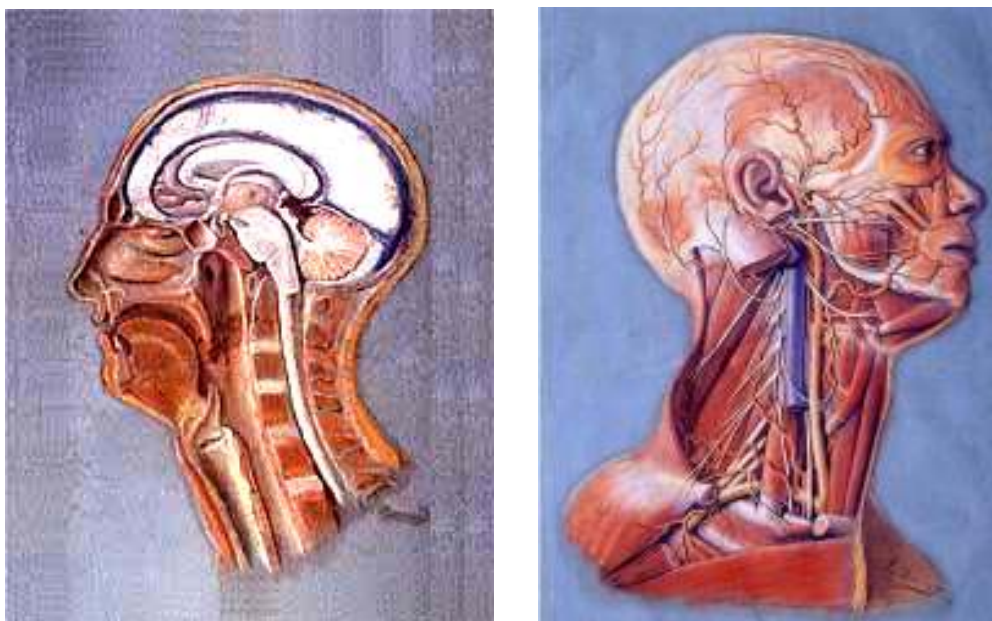


Fig. 15. Material docente. Dibujos murales para ilustrar las clases de Cajal en Zaragoza. Santiago Ramón y Cajal (1869 y 1883) (P16, P17).

Sus conocimientos científicos y artísticos de la anatomía le valieron su designación como Ayudante Disector en su etapa de estudiante. En 1875 fue nombrado Profesor Ayudante de Anatomía en Zaragoza. En 1879 obtuvo la plaza de Director de los Museos de Anatomía en dicha ciudad. Durante esta nueva etapa realizó numerosas ilustraciones, algunas de ellas de grandes proporciones, relativas a la anatomía descriptiva y a la histología. Es en la colección de láminas anatómicas de Cajal donde encontramos, por primera vez, una vistosa conjunción entre arte y ciencia dentro de su obra artística. Se trata de un trabajo de gran valor plástico titulado “*Álbum anatómico*” localizado en la Biblioteca de la Universidad Central de Zaragoza. Consta de un conjunto de láminas de gran formato (de más de un metro de altura) realizadas con tizas de colores sobre un dibujo previo hecho con carbón, sobre papel de estraza. Esta obra fue, posiblemente, realizada durante su época de Director de los Museos de Anatomía de la Facultad de Medicina de Zaragoza (1879–1883), y fue utilizada como apoyo a la docencia durante las clases de anatomía. (Figs. 15, 16). Esta actividad tiene su culminación al obtener la plaza de Catedrático de Anatomía General y Descriptiva en la Facultad de Medicina de la Universidad de Valencia. Como profesor de la misma realizó numerosos dibujos con tizas de colores en la pizarra, durante sus clases. Para el desarrollo de sus enseñanzas, apoyaba sus explicaciones con el uso de láminas de gran tamaño (murales) confeccionadas a color, en las que representaba las partes anatómicas esenciales del cuerpo humano diseccionado (10). Además, realizó pinturas anatómicas al óleo en las que muestra su habilidad artística y su conocimiento científico en el campo de la anatomía (Fig. 17).

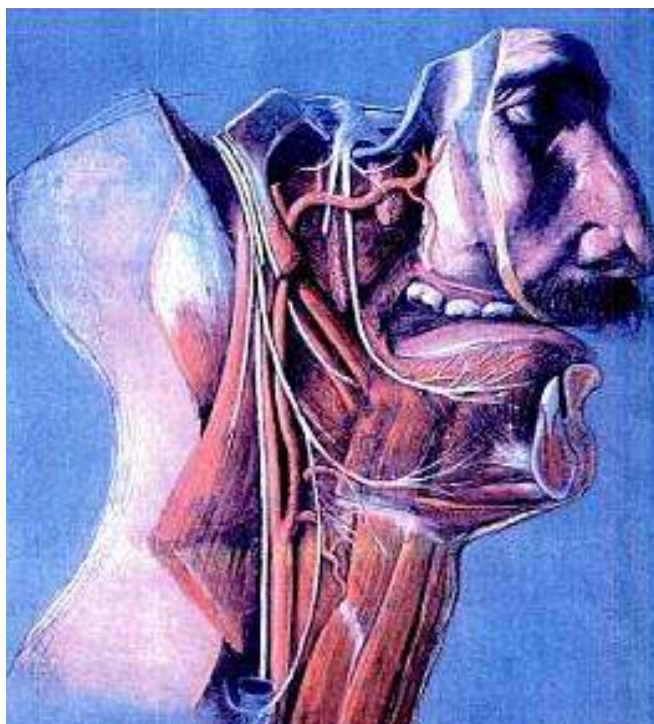


Fig. 16. Dibujo anatómico.
Santiago Ramón y Cajal, S. (1870).
(P16, P17).

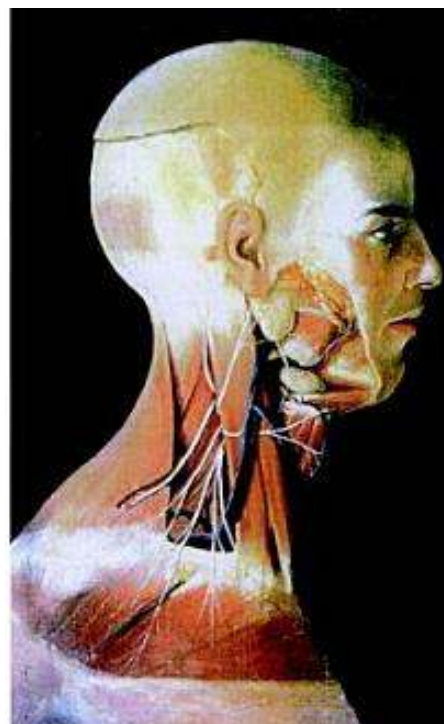


Fig. 17. Óleo anatómico.
Santiago Ramón y Cajal, S. (1880).
(P16, P17).

5. 2. El dibujo histológico

En su etapa de Catedrático de la Universidad de Valencia, continuó realizando dibujos en láminas de gran formato, con la intención de divulgar entre sus alumnos sus hallazgos científicos. Estos dibujos tratan ahora sobre sus descubrimientos neuro-histológicos al microscopio. Se trata de dibujos científicos de carácter naturalista, que él mismo denominó “El jardín de la Neurología”, que son “espectáculos cautivadores y emociones artísticas incomparables” Cajal proyecta sus sentimientos artísticos sobre la descripción anatómica y la visualización microscópica. Se recrea en sus observaciones al microscopio, y las transforma en arte (Fig. 18). “Se trata de inquirir cómo rematan las raíces y las ramas de esos árboles de la sustancia gris, de esa selva tan densa que por refinamiento de complicación carece de vacíos, de suerte que troncos, ramas y hojas se tocan por todas partes.” (1, 2, 5).

Es sus dibujos histológicos es donde encontramos reunida la máxima expresión de su conocimiento científico y de su arte, abordados ambos a la vez de modo crítico y creativo. En ellos, aúna sensibilidad artística y capacidad científica (Fig. 18). Es, sin duda, al observar al microscopio el sistema nervioso, cuando descubre la auténtica belleza que se encuentra en la Naturaleza, en sus hermosas y estremecedoras formas abstractas, las cuales le impulsan hacia el desarrollo de su actitud y de su capacidad creadora como artista. “En él hallaron, al fin, mis instintos estéticos plena satisfacción” (7, 42).

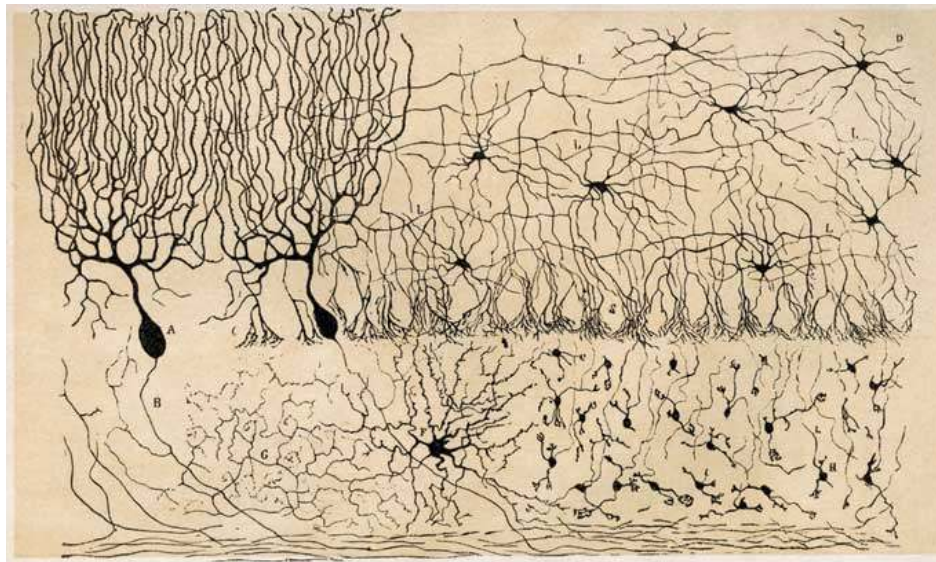


Fig. 18. Primer dibujo realizado por Santiago Ramón y Cajal (1888) a partir de una preparación histológica. Sección de Cerebro de Gallina teñida con el método de Golgi (P5).

“Sin duda estas nuevas visiones microscópicas, que encierran formas sorprendentes dentro del espacio orgánico, cuyas tinciones fibrosas ofrecen un espectáculo sin igual de color, despertarían su pasión plástica por estas imágenes. Al trasladarlas al papel, nuestro autor se recrea como artista dando forma y color a cada una de las observaciones histológicas. Sus hallazgos e interpretaciones generan unos dibujos que sorprenden por su soltura a la hora de representar este nuevo universo, que a nuestros ojos aparece de forma abstracta. Estos dibujos pasan a ser Arte y Ciencia al mismo tiempo. Cajal genera un nuevo lenguaje plástico que, de haber sido conocido por los pintores abstractos, hubieran tomado buena nota de él” (2).

De esta misma opinión se muestra su discípulo Fernando de Castro en 1966 en el prólogo de su libro: “Yo estoy convencido de que si alguna vez se hiciera una exposición de los dibujos histológicos de Cajal, producirían pasmo entre los artistas y aficionados a la pintura y al grafismo de nuestro tiempo” (43).

Sus observaciones microscópicas dieron lugar a un abanico incomparable de dibujos cuyo valor para el arte son el objeto de la presente tesis.

6. Cajal y la Fotografía

Santiago Ramón y Cajal desarrolló una importante actividad en el campo de la fotografía. Referencia de dicha actividad se encuentra en sus propios trabajos, los cuales nos informan de su inquietud, formación y labor técnica (44).

La fotografía tiene sus inicios en España, hacia el año 1839, en relación con la divulgación del daguerrotipo como procedimiento fotográfico, constituyendo un motivo de sorpresa, por su capacidad para captar y reflejar la realidad en tan sólo unos minutos, con un realismo desconocido hasta aquél momento (45).

Ramón y Cajal desde su infancia, toma contacto con la fotografía y comprende inmediatamente que este procedimiento es una herramienta valiosísima para el desarrollo de sus actividades artísticas. Esta idea inicial quedó confirmada para Cajal cuando, durante su etapa de estudiante de bachillerato, tuvo oportunidad de visitar un gabinete fotográfico. Esta experiencia inestimable le permitió tomar contacto directo con el trabajo y la técnica fotográfica, despertando en él la más viva afición por el arte y la técnica de la fotografía. Una de las principales conclusiones que obtuvo de esta visita, fue la referente a la posibilidad de obtener un número de copias ilimitado de las imágenes, tal y como conocía que tenía lugar en la técnica del grabado. Dos años más tarde, a los dieciocho años de edad, consigue realizar sus propias fotografías (Figs. 19 y 20), para terminar convirtiéndose en uno de los precursores del desarrollo técnico de la fotografía en España. (7, 9, 46).

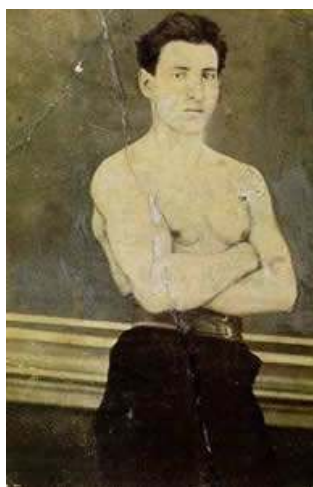


Fig. 19. Fotografía de S. Ramón y Cajal a los 18 años (P18).



Fig. 20. Fotografía panorámica de Eyerbe (P19).

Así mismo, comprendió la importancia de reflejar la realidad mediante la técnica fotográfica, como medio para hacer que esta perdurara, tanto en su esencia como en su localización. Las realidades que había captado anteriormente, mediante medios plásticos tales como la pintura o el dibujo, fueron utilizadas, en adelante, como modelos y motivos para la creatividad fotográfica. En definitiva, comprendió la importancia de la fotografía como nueva forma de expresión, artística, debido a que esta le permitía retener la belleza de la imagen, gracias a sus dotes estéticas y a su capacidad técnica (46).

Encontró un elevado grado de similitud entre fotografía y dibujo, a los que llegó a conceder similar categoría artística, debido a que ambos requieren de un procesado que exige de la intervención creativa del artista. En el caso concreto de la fotografía, se trata del proceso de revelado y manipulación posterior al que el artista somete a la misma, es decir del positivado de la imagen que se produce, según sus propias palabras, “Con total nitidez, como si de un dibujo se tratase, haciendo aparición en el papel aluminado, mediante el proceso químico de revelado en inmersión con ácido pirogálico” (9, 44).

Ramón y Cajal apreció claramente que el fenómeno fotográfico tenía carácter polivalente, de gran riqueza artística, en tanto en cuanto los resultados dependían, en gran medida, del tratamiento que les concediese el artista (enfoque, composición, iluminación, motivo de la escena, etc.), lo cual permitirá realizar una valoración estética de la obra y decidir sobre de la capacidad artística del autor de la fotografía (Figs. 21 y 22) (9, 44, 48).



Fig. 21. Autorretrato de Santiago Ramón y Cajal (P2).



Fig. 22. Bodegón (Fotografía de S. Ramón y Cajal) (P19).

Durante su estancia en Cuba, creó su primer laboratorio de fotografía que le permitió obtener imágenes autobiográficas a las que hace referencia en su obra (44).

A partir de este momento no abandonará la fotografía. Utilizó diferentes laboratorios fotográficos, pasando parte importante de su tiempo en ellos, con intención de aportar novedades a la técnica fotográfica, lo cual le permitió la fabricación de placas fotográficas de gelatinato de bromuro y gracias a ello su relación con importantes fotógrafos españoles de la época, ya que la adquisición de las placas fabricadas por la casa Monckoven suponía claras desventajas económicas (9, 44, 48).

Intentando ir más allá de la imagen estática, trató de conseguir la captura de imágenes en movimiento, intentando evitar la producción del barrido o desenfoque (44).

Años más tarde, se implicó en el mundo de la fotografía en color, llevando a cabo un estudio de los materiales y las técnicas disponibles en aquel momento sobre este tema, el cual publicó en un libro titulado *“La fotografía de los colores: bases científicas y reglas prácticas”* Durante sus estancias como profesor de las universidades de Valencia y de Madrid realizó un importante número de fotografías de tema muy variado (de la naturaleza, de ambiente social, retratos,

etc.) (Figs. 23, 24, 25 y 26). En esta última ciudad dispuso de estudios fotográficos que le permitieron trabajar como un auténtico profesional de la fotografía (44).



**Fig 23. Fotografía de un Paisaje.
Castillo de Loarre. S. Ramón y Cajal (P19).**



Fig. 24. Fotografía costumbrista. S. Ramón y Cajal (P19).



**Fig. 25. Fotografía familiar.
Cajal y sus hermanos. S. Ramón y Cajal (P19).**



**Fig. 26. Fotografía realizada Durante un viaje.
S. Ramón y Cajal (P19).**

Ni la obra pictórica, ni la obra fotográfica de Santiago Ramón y Cajal fueron objeto de publicación, permaneciendo como parte de su actividad íntima hasta su muerte.

II. EL DIBUJO CIENTÍFICO

En términos generales, dibujar es una actividad que supone la representación inmediata de un concepto. Supone la iniciación a la formación artística, como etapa necesaria para educar la percepción del ojo y coordinar la acción de la mano y la observación consciente o la idea o pensamiento. Se trata de depurar la capacidad de observación y de transcripción de lo observado (49). Esto es particularmente cierto cuando se trata del dibujo científico.

1. Concepto y normas

La palabra dibujo se emplea tanto para designar al procedimiento artístico que enseña a dibujar como a la figura o imagen resultante de la acción de dibujar. Se trata de una forma de expresión artística que supone la elaboración de imágenes sobre una superficie, generalmente bidimensional. Se considera que el dibujo es el lenguaje gráfico por excelencia para transmitir información. Los símbolos y señales son dibujos específicos de cada cultura y permiten comunicar parámetros de actividad o comportamiento (50, P20).

La palabra ilustración se emplea para designar a una figura o imagen que acompaña a un texto como adorno o complemento de la información del documento. Por lo tanto, se trata de imágenes que, asociadas a palabras, son portadoras de información relacionada con dichas palabras. Puede tener carácter bidimensional o tridimensional. El dibujo o la ilustración científica consisten en una figura o imagen que puede incluir símbolos o señales (51, P21).

En el desarrollo de un buen dibujo científico o artístico, se considera una posible secuencia temporal de acciones (apunte, boceto, encajado, línea, valoración, color, proporción y corrección). Un apunte es un dibujo rápido cuyo objeto es captar y recordar las características más importantes del dibujo definitivo. Un boceto supone la prueba hecha en un soporte diferente al definitivo, para decidir los elementos a incluir. El encajado es un conjunto de líneas trazadas sobre el soporte definitivo, que sirven como referencia y guía. La línea es el dibujo de los contornos y va desde lo general al detalle. La valoración es una acción propia, pero no exclusiva, del dibujo artístico y consiste en aportar a la línea un sombreado para conferir realismo y volumen, el cual puede ser posteriormente aclarado o borrado en parte, para crear zonas de luz y de sombra. Finalmente, puede o no usarse color, aplicado mediante diferentes técnicas incluidas las más actuales de la informática. La proporción confiere armonía a los objetos representados en el dibujo, poniendo en relación todos los elementos que lo conforman. Cuando se considera necesario se puede recurrir a la corrección de posibles errores (borrando, superponiendo materiales, sobredibujando, modificando mediante programas informáticos de retoque de diseño o fotografía, etc.) (P9). Los actuales software permiten realizar todo lo necesario para el desarrollo de dibujos virtuales complejos, pero no permiten sustituir los dibujos reales (52, P22, P23).

Una modalidad de dibujo científico muy común es el dibujo a mano alzada durante las actividades de campo. Generalmente se realizan sobre un soporte denominado cuaderno o libreta de campo. Cajal indica en sus memorias la utilización frecuente de este tipo de dibujo (3).

El dibujo científico ha ocupado y ocupa un lugar importante, tanto en el proceso enseñanza-aprendizaje como en la investigación, la divulgación o la tecnología, que se desarrolla en el campo de las Ciencias, y de modo particular en el de las Ciencias de la Vida. El dibujo científico supone un apoyo esencial para el desarrollo del conocimiento. Lo fue en etapas de la historia en las que no se disponía de medios técnicos de elaboración y reproducción de imágenes como los actuales, y continúa siéndolo en la actualidad, como actividad imprescindible tanto para el apoyo en la docencia, como para el desarrollo y publicación de la investigación de laboratorio y de campo, debido a sus exclusivas propiedades de selección y diseminación de la información. El dibujo no sólo nos permite retener, sobre un soporte, una imagen de lo observado, sino que supone una ayuda imprescindible para recordar sus características. En el desarrollo de la actividad cotidiana del alumno de ciencias y del investigador científico, es obligado visualizar un gran número de eventos y/o especímenes, que tan sólo podrán recordar y revisar convenientemente, si han realizado dibujos apropiados de ellos. La fotografía o la filmación no son consideradas una alternativa, sino un complemento. La actividad de realizar un dibujo científico, supone prestar atención al todo y a los detalles, que en ese momento son recreados y memorizados, y permite la realización de una labor de análisis, síntesis y recreación de lo observado que puede ser recogido, total o parcialmente, en una misma imagen. El cerebro recordará las características de lo observado, de un modo que permite recurrir a ellas cuando es necesario. El hecho de fotografiar o grabar imágenes, no precisa, necesariamente, de estos procesos mentales (53, 54, P21, P24).

La práctica histórica del dibujo científico o la ilustración científica, ha supuesto el establecimiento de unas reglas sencillas, que fueron fijadas por los dibujantes del siglo XVIII y que atienden a tres pasos esenciales: Dibujo a mano; dibujo preparatorio y dibujo formalizado. Todo ello sin olvidar algunas normas sencillas: 1) Observación y examen cuidadoso del evento/especimen; 2) Dibujar solamente lo observado, no lo que uno espera, desea o cree observar; 3) Realizar el dibujo con material que permita modificarlo o suprimirlo; 4) El dibujo debe permitir el distinguir fácilmente sus detalles; 5) Utilizar líneas, puntos o manchas. Sombreados si es imprescindible; 6) Datar convenientemente el dibujo (título, aumento, líneas de marca y rótulos, dispuestas de modo apropiado, anotaciones claramente escritas, barra de escala, y todo aquello que permita completar la información considerada necesaria). Estas normas o convenciones gráficas que codifican la información, están en función de la disciplina científica que requiera del dibujo (55, 56 P 20).

2. Desarrollo histórico

2. 1. Los inicios.

Al inicio del hombre, el dibujo y la pintura representan objetos naturales de carácter biológico, aparece como lenguaje de comunicación de acontecimientos aún por descifrar (Fig. 27). En el transcurso de los siglos, griegos y romanos impulsaron las artes de la pintura y escultura, supeditadas ambas siempre a la teoría inexcusable del dibujo, que con posterioridad aparece en las exquisitas

miniaturas medievales de códices, libros y tratados sobre enfermedad y medios curativos. Los dibujos y pinturas más antiguas se encuentran en cavernas, donde aparecen sobre la piedra como representaciones de escenas de caza (57, P25).

Sin embargo, la primera manifestación conocida de dibujo no espontáneo, de naturaleza propiamente ilustrativa, data de 2450 aC. Se trata de un dibujo que se observa esculpido en la estatua del rey sumerio Gudea, llamada *El arquitecto*, (museo del Louvre, París), y que representan los planos de un edificio. Del año 1650 aC. data un papiro de Ahmes, escriba egipcio, que creó una representación de carácter geométrico, dividida en cinco partes que abarcan: aritmética, estereotomía, geometría y cálculo de pirámides. A la Escuela de Pitágoras, se le atribuye el estudio y trazado de los tres primeros poliedros regulares: tetraedro, hexaedro y octaedro. Pero quizás su contribución más conocida en el campo de la geometría es el teorema de la hipotenusa, conocido como teorema de Pitágoras. Del año 300 aC., del matemático griego Euclides procede la principal obra sobre Dibujo y Matemáticas "*Elementos*", que es un extenso tratado de matemáticas sobre geometría plana y geometría del espacio. La influencia de esta obra se extiende hasta el siglo XIX cuando aparecen las primeras geometrías no-euclidianas, que expanden las fronteras en contenidos, formas y dibujos. La primera prueba escrita de la aplicación del dibujo tuvo lugar en el año 30 aC., cuando el arquitecto romano Vitruvius escribió en su tratado sobre arquitectura que "El arquitecto debe ser diestro con el lápiz y tener conocimiento del dibujo, de manera que pueda preparar con facilidad y rapidez los dibujos que se requieran para mostrar la apariencia de la obra que se proponga construir". Durante la Edad Media, el dibujo mantiene su carácter de elemento original. Se trata de dibujos realizados a mano (técnica amanuense), sobre los más variados soportes, que dan lugar al concepto de "imagen original", como vía generadora de información de lo que se observa en la naturaleza (Fig. 28). En la Edad Media se utilizó profusamente el dibujo, generalmente coloreado, para representar sobre pergaminos temas religiosos o de conocimiento sobre plantas como medios curativos, a modo de explicación o alegoría de las historias escritas, privando así lo simbólico sobre lo realista, incluso sobre las proporciones y cánones de la época. La cultura islámica también contribuyó con preciosos dibujos que solían acompañar textos de anatomía, astronomía o astrología. A este período pertenecen numerosos pergaminos con descripciones de hierbas medicinales y bestiarios. En esta última clase de textos, en los que habitualmente se mezcla la intención de ofrecer una descripción de la fauna, con pretensiones moralizantes, prevalecía el mito sobre la representación objetiva, dado que la ilustración se basaba más en los dichos, que pasaban de boca en boca, que en las observaciones directas. Así la fauna mostrada por los bestiarios tiene más monstruos que animales. La tendencia se mantuvo hasta el Renacimiento (53).



Fig. 27. Pinturas de la cueva de Altamira (P25).

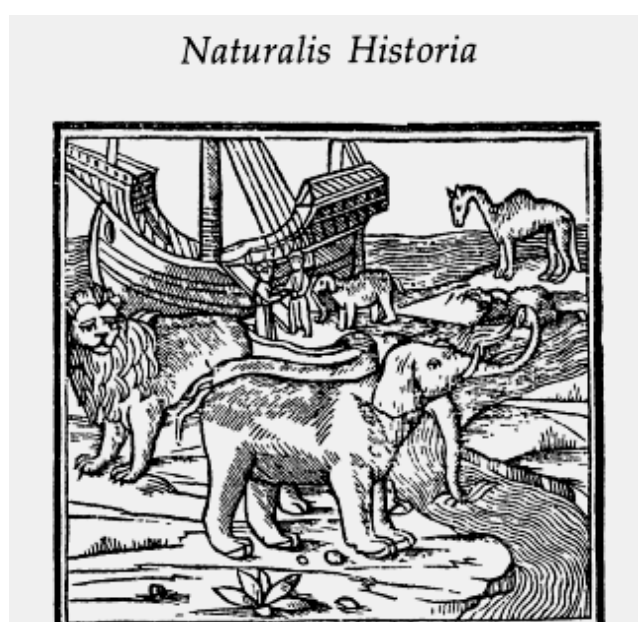


Fig. 28. Historia Natural de Plinio. Libro VIII: Animales. Anderson (1997) (P26).

2. 2. Dibujos no occidentales

El dibujo científico perteneciente a las culturas orientales se encuentra menos documentado en la literatura, que el dibujo científico de la cultura occidental. Se trata de material realizado con técnicas muy variadas y es objeto de una gran dispersión histórica. La temática de estos dibujos pertenece fundamentalmente a la medicina tradicional y a la filosofía religiosa ancestral de estas culturas. A continuación se hace referencia a algunos dibujos representativos de estas culturas a lo largo de la historia. Así, resultan de interés los dibujos de diferentes épocas, dedicados principalmente a temas relacionados con la sanidad. Son interesantes los dibujos amanuenses realizados con plumilla y tinta china sobre papel, durante el periodo de la dinastía Ming (1368-1644) (58) (Fig. 29).



Fig. 29 Carta de Acupuntura de la dinastía Ming (1368–1644) (57).

Resulta de gran interés el fascinante tratado de anatomía japonés de Yoshimura (1784), en uno de cuyos volúmenes se encuentra una interpretación religiosa de la vida y la muerte con más de 10 grandes láminas a color, mostrando los estados progresivos de purificación del cuerpo (P27) (Fig. 30).

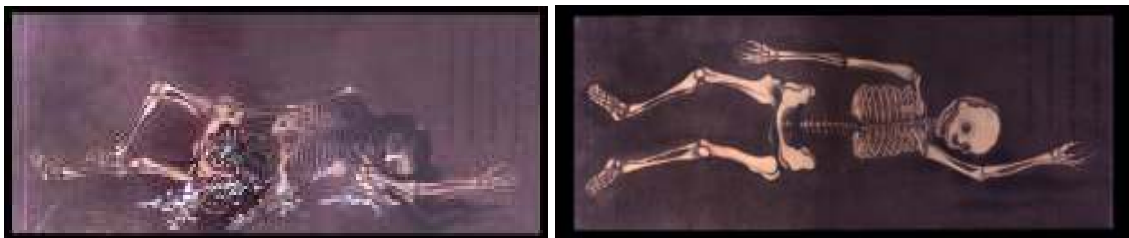


Fig. 30. Ilustraciones del Tratado de Anatomía de Yoshimura, M., (1784) (P27).

El dibujo japonés del siglo XIX titulado “El embarazo”, de autor desconocido, forma parte de un importante legado realizado por el doctor Pickard (1881) a principios de 1900 a la Clendening History of Medicine Library situada en el Centro Médico de la Universidad de Kansas (Dr. Logan Clendening in the *Bulletin of the History of Medicine* 1940) (P27) (Fig. 31).



Fig. 31. El embarazo. Ilustración japonesa (P27).

La “Medicina Tradicional China” utiliza diferentes medios curativos como la lectura del rostro o el “Tui Na” (Empujar-Tirar). Se presentan dos ilustraciones de autor y periodo desconocidos, relacionadas con estas prácticas (59, 60) (Fig. 32).



Fig. 32. Ilustraciones chinas dedicadas a dos actividades de la medicina tradicional (58, 59).

En el año 2000 se editó una serie de carteles dedicados a la prevención de enfermedades infecciosas en China a cargo del Centro Médico de la Universidad de Kansas (P28) (Fig. 33).



Fig. 33. Cartel publicitario para prevención de infecciones. Universidad de Kansas (P28).

La “Medicina Ayurveda” de la india, junto a la “Medicina Tradicional China”, son dos de los sistemas médicos vigentes más antiguos del mundo. En relación con la práctica médica Ayurveda existen ilustraciones de gran belleza y colorido (61) (Fig. 34).



Fig. 34. Imagen del médico Dhanwantari, convertido en un avatar del dios Visnú (y como él, con cuatro brazos) (P29).

Algunos dibujos de gran tamaño pueden encontrarse en la fachada o el interior de los templos de Tailandia, relacionados con las artes de la curación (62) (Fig. 35).



Fig. 35. Dibujos de puntos de acupresión de las líneas Sen en el Templo Wat Pho en el distrito Phra Nakhon, Bangkok . Tailandia (62).

2. 3. El Renacimiento (Siglos XV y XVI)

Durante este periodo de la historia tiene lugar en occidente un verdadero nuevo orden en lo visible, asociado a la aparición de la imprenta, que permitirá la reproducción de imágenes en serie. Se pasa de la imagen original y amanuense precedente, a la posibilidad de la producción de la estampa como original, unida a la posibilidad de multiplicar dicho original. Además, se genera la relación entre palabra escrita e imagen impresa, en una superficie común, y en relación con las observaciones de lo natural (50).

La técnica xilográfica hasta ese momento utilizada para la reproducción de imágenes en otras áreas, permite multiplicar la imagen de lo observado en la naturaleza y con ello la posibilidad de una mayor difusión de las observaciones, unida a la posibilidad de crear formas y figuras estándar que se convierten en algo representativo de la realidad observable. En este periodo, el conocimiento de la historia natural, como ciencia del saber, sufrió un gran relanzamiento a dos niveles. El primero consiste en dar continuidad a la labor emprendida en la Edad Media, de recuperación y conservación del legado clásico, mediante edición impresa de las obras de los autores más destacados (Dioscórides, Teofrasto, Plinio, Aristóteles, etc.). Quizás el ejemplo más representativo sea la edición comentada por P. A. Mattioli (1554) de "*De Materia Medica*" de P. Dioscórides, escrita el 70 AD, que había sido editada desprovista de ilustraciones y que es reeditada (1565) con provisión de numerosas xilografías, que Mattioli encargó a los artistas G. Liberale y W. Meyerpeck, los cuales la dibujaron e ilustraron mediante elaboración de unos seiscientos tacos de madera (P30). Además de dotar de iconografía a estas obras, se corrigen los errores detectados en las obras originales. De este modo, la imagen gráfica permitió dar fe del contenido de los textos escritos (63, P30, P31) (Fig. 36).

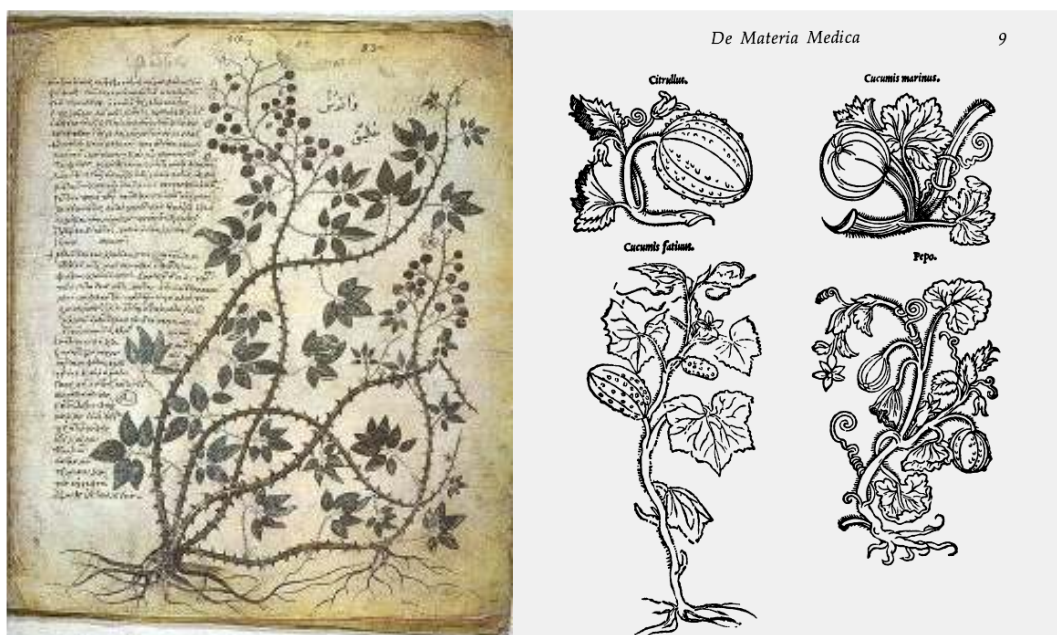


Fig. 36. Imágenes xilográficas de "*De materia Médica*" de P. Dioscórides (P30).

El Segundo nivel consiste en la incorporación al legado clásico, de nueva información producto de la actividad de los naturalistas del momento (Gesner, Fuchs, Brunfels, Aldrovandi, etc.), los cuales, se sienten atraídos por el entorno e instados a la visualización correcta de los hechos naturales, se trata de una “vuelta a la naturaleza” Con esta base, se crean las obras más significativas de la Historia Natural del renacimiento, los “Herbarios” (P32) En ellos se conjugan la erudición de los textos clásicos con los nuevos planteamientos y visualizaciones. Ejemplo de estas obras de gran belleza, maestría y sentido de la observación, provistas de magníficas xilografías, son el “*Herbarium Apulei*” publicado por J. P. de Lignamine (1481) o el “*Herbarium vivae eicones*” de O. Brunfels (1530-1536). Alcanzaron Gran renombre dos de ellos: “*De Historia Stirpium Comentarit*” de L. Fuchs y “*De Stirpium Historia*” de R. Dodoens. Se trata de la creación de un tipo especial de libro impreso que se convierte en el reflejo de lo que se puede observar en la naturaleza (64, P32). Progresivamente, como consecuencia de una compulsión hacia una observación más profunda y completa en detalles, se produce un incremento en la capacidad para ver y diferenciar. Sin embargo, la capacidad para representar lo observado alcanzan un límite y la técnica xilográfica se va revelando como insuficiente (42).

A mediados del siglo XVI surge la opción del grabado calcográfico como alternativa a la xilografía (P33). Esta técnica, usada exclusivamente con fines alegóricos o religiosos, adquiere gran aceptación entre los artistas dedicados a la ciencia. De este modo, al poderse representar un mayor número de líneas delgadas, en los dibujos científicos comienzan a aparecer los más pequeños y delicados detalles, originándose estampas de gran belleza, provistas de textura y de volumen, desapareciendo finalmente la planimetría. Las figuras aparecen situadas en un ambiente espacial, y se va perdiendo la relación entre texto e imagen. Aparece un nuevo sistema consistente en la impresión de números y letras relacionadas con la descripción de las figuras, se trata de un nuevo lenguaje intertextos (65) (Fig. 37).

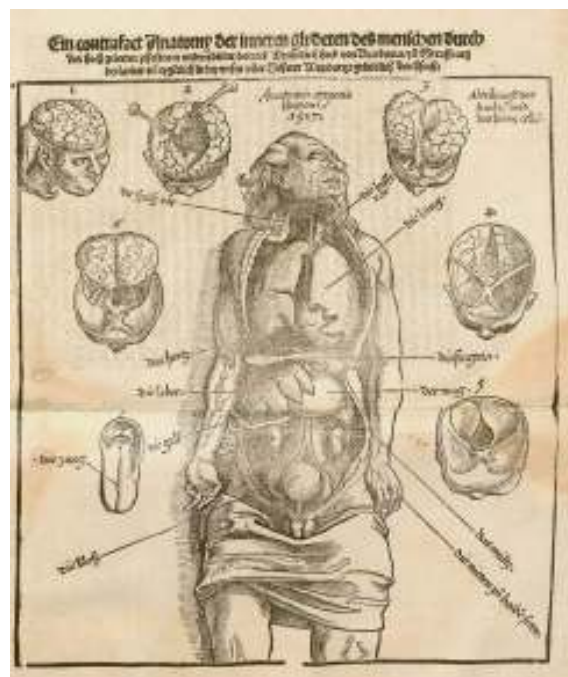


Fig. 37. Grabado mostrando la relación entre dibujo, números y letras.
“*Espejo de la Cirugía*” (Fries, 1518) (65, P34)

En lo referente a dibujos anatómicos, el siglo XVI estará condicionado por el referente de los realizados por Leonardo Da Vinci y por Alberto Durero (figs 38a y 38b). Los dibujos de Leonardo serán como verdaderos documentos médicos que permiten un estudio profundo e incluso la obtención de conclusiones. En cada uno de ellos se recoge una compleja labor de síntesis de múltiples observaciones de un mismo aspecto. De Durero es de destacar su grabado del reinoceronte, convertido en auténtico icono (53, 66). (Fig. 38b).

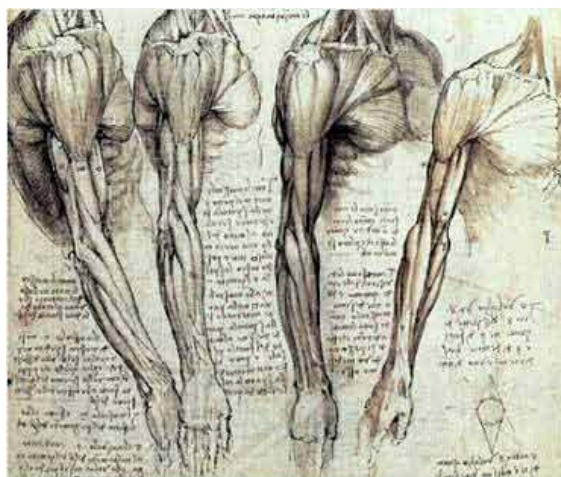


Fig. 38a. Dibujo anatómico de Leonardo da Vinci (1517), mostrando la labor de síntesis en un estudio del miembro superior (P35).

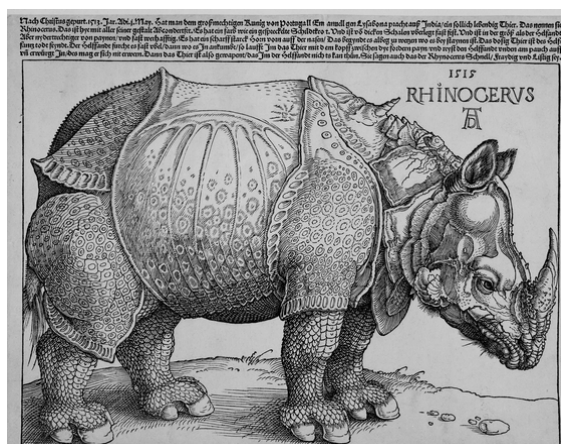


Fig. 38b. Rinoceronte. Xilografía de Alberto Durero (1515) (P36).

Durante la segunda decena de este siglo aparece la obra “*Espejo de la cirugía*” de L. Fries (1518) provisto de grabados en los que ya se observan caracteres realistas y la antes citada relación entre imagen letras y palabras (65) (Fig. 37). Previamente se había producido la obra “*Seis tablas de Anatomía con grabados xilográficos*” de J. S. Calcar (1540), artista que asistió al taller de Ticiano, y que colaboró con A. Vesalio (1543). El verdadero nacimiento de la ciencia anatómica moderna tiene lugar con la creación de la obra de este último titulada “*De Humani Corporis Fabrica*” (67). Esta obra trasciende lo estrictamente científico, llegando hasta un público interesado tanto por los aspectos formales de

la obra, como por su contenido, convirtiéndose en un auténtico fenómeno artístico y científico (Fig. 39) .



Fig. 39. Imagen de “*De Humani Corporis Fabrica*” de A. Vesalio (65, P37).

Los grabados de “*De Humani Corporis Fabrica*” son de carácter realista, resultado de la observación y experimentación, así como del interés por mostrar imágenes de gran belleza plástica a un exigente público renacentista. En la España de esa época, cabe citar la obra de J. V. Amusco (1556) cuyo grabado “*El desollado*” se ha convertido en un auténtico icono de la actividad anatómica de ese momento (P38) (Fig. 53).

2. 4. El Barroco (S. XVII)

Esta etapa histórica se caracteriza por una tendencia a considerar mas lo que se ve que lo que se sabe. La experimentación adquiere un valor central, como modo de mostrar correctamente la labor de la naturaleza, y es lo que caracteriza las academias y sociedades científicas, tanto públicas como de la realeza, que aparecen en diferentes países. Cada experimento adquiere cualidad de espectáculo público sorprendente, con el que se muestra, de modo colectivo, el poder que entraña la ciencia, superior a la capacidad de raciocinio del hombre (Fig. 40). Como medio de reflejar de modo impreso esta actividad, aparecen las “Memorias”, que contenían un resumen del experimento realizado, haciendo posible la difusión del mismo y de los resultados de este, tanto mediante texto como mediante obra gráfica. Es el caso de las memorias de C. Perrault (68), tituladas “*Memorias para servir a la historia natural de los animales*” (1671-1676), en las que se incluyen sesiones de disección animal con grabados de S. Leclerc (1637-1714) (68, P39, P40).



Fig. 40. Perrault, C. (1671). Disección de un zorro en el Gabinete de Historia Natural (Grabado de S. Leclerc). “Mémoires pour servir à l’histoire naturelle des animaux” (P40).

Se aviva la polémica entre el saber clásico y el moderno. La anatomía va más allá del estudio de la forma externa del cuerpo animal, para entrar en la máquina interna del ser vivo. Los grabados de esta época, reúnen tanto la visión externa como la interna, buscando plasmar la experiencia de lo observado del modo más fiel y más completo posible. Se trata de una visión dual en las que las partes externa e interna se complementan, desprovistas del racionalismo que caracterizará las ideas de la ilustración del siglo siguiente (56) (Fig. 41).



Fig. 41. Puercoespín. C. Perrault (1676).
“Mémoires pour servir à l’histoire naturelle des animaux” (P41).

Hacia la mitad del siglo XVII es creado el microscopio y con el la microscopía como disciplina. Ambos darán un juego esencial en la observación y

experimentación científica de la zoología, la botánica y la anatomía del barroco. Se comienza con tejidos vegetales para pasar al campo de los tejidos animales tales como el tejido muscular o la sangre. Todo ello con una base mecanicista, que considera máquinas a los seres vivos, incluido el hombre. Surge una primera generación de microscopistas entre los que destacan A. Leeuwenhoeck, M. Malpighi o R. Hook. Es notable la obra de este último titulada “*Micrographia*”, en la que utiliza por primera vez el término célula para referirse a las celdillas del corcho (69) (Fig. 42).

En los estudios microscópicos iniciales se aportan dibujos y grabados que confieren forma a lo observado, y que hasta el momento era invisible. El microscopio abre un mundo nuevo y hace que el hombre se replantee su condición de ser privilegiado en la naturaleza, hasta ese momento el hombre es la medida de todo y los objetos son grandes o pequeños en función del tamaño humano. Ahora, objetos que eran invisibles se observan con tamaño variable dependiendo del aumento con que se los observe. Esto hace que el espacio adquiriera un carácter relativo. Por otra parte, es tan real como efímero en lo que a visibilidad se refiere, aunque, se trata de una realidad indiscutible, gracias a la posible repetición de la observación. Además, surge la cuestión de qué y como observar, precisando de reglas específicas. En este momento histórico, el dibujo y el grabado sirven para dar fe de la existencia de lo que se observa al microscopio. La observación se realiza desde el todo a las partes, profundizando en aumento hasta el límite que el aparato permite (50).

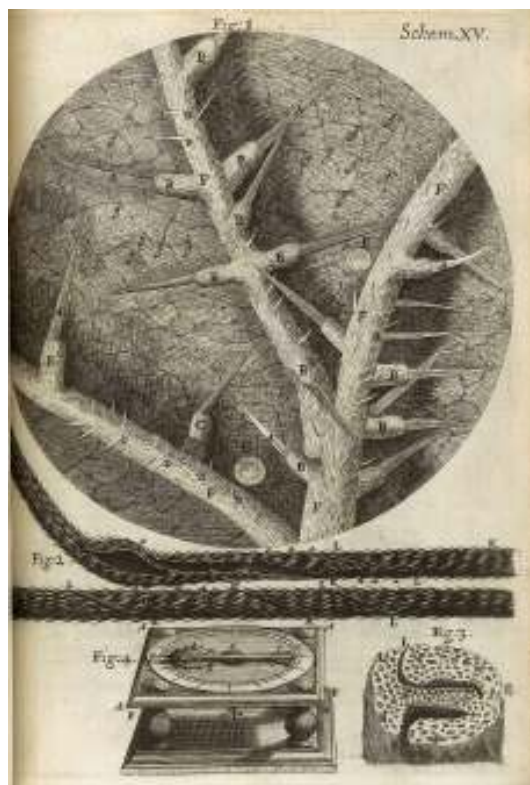


Fig. 42. Grabado de “*Micrographia*” de R. Hook (1665) (P42).

En este siglo se ha de destacar la obra del gran grabador, anatomista y microscopista valenciano Crisóstomo Martínez (1638-1694), con su “*Atlas anatómico*” del que solo se editaron un par de láminas, encontrándose actualmente

en el archivo histórico Municipal de Valencia. En este atlas se incluye información anatómica e información microscópica (70, 71, 72) (Fig. 43).

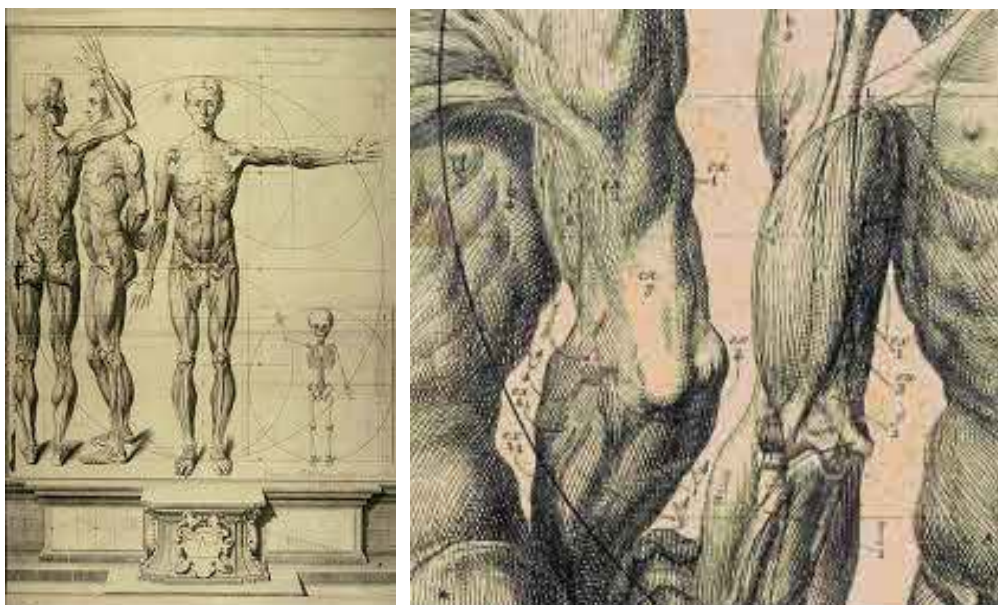


Fig. 43. Detalles de un grabado (Lámina 19) del “Atlas Anatómico” De Crisóstomo Martínez (1692) (P43).

A finales de siglo XVII, el artista-naturalista se ha especializado y ha adquirido un importante grado de consideración social. Dibujantes y grabadores se convierten en diseñadores prestigiosos, especializados en diseño de vegetales o de la anatomía animal.

A la cabeza del diseño científico se encuentran los diseñadores ingleses y franceses en Europa. Cabe destacar la obra de Ch. Plumier (1693). En esta época, en España no se cuenta con la infraestructura necesaria para la aparición de verdaderos diseñadores científicos. Tan sólo se tiene capacidad para competir en el campo del grabado religioso (73). Sólo el grabado anatómico había obtenido cierto desarrollo (70). En el campo de la zoología es de destacar el trabajo realizado en Madrid por M. E. De Beer, entre 1640 y 1652 con el título “Cuaderno de aves para el príncipe” con intención didáctica y de entretenimiento (74).

2. 5. La Ilustración (S. XVIII)

Es obligado hacer una primera referencia, en este periodo, al naturalista Linneo, C. (1707-1778), responsable del sistema de clasificación binomial de los seres vivos, que actualmente es asumido a nivel mundial (P44, P45). También propuso un sistema de clasificación de las plantas considerando la sexualidad de estas. Es destacable su obra “*Species Plantarum*” (1753) (74). La obra “*Hortus Cliffortianus*” (1737), realizada por Linneo con dibujos de G. D. Ehret (1708-1770) (Figs. 44 y 46) y grabados de J. Wandelaar (1690-1759), puede ser considerada el inicio de una nueva era en el terreno de la ilustración botánica (P46). En ella aparecen por primera vez figuras en las que se representa un elemento central o “Figura tipo” con otras figuras de menor tamaño, todo ello provisto de un nombre de referencia o “Nombre científico” (76) (Fig. 44).



Fig. 44. “Figura tipo” con detalles y “Nombre científico” “*Hortus Cliffortianus*” Linneo (P46).



Fig. 45. Imagen de la “*Histoire naturelle, générale et particulière*” Buffón (P47).



Fig. 46. Dibujo de G. D. Ehret (P32).

La obra de Linneo será fuertemente criticada por diferentes autores de entre los que destaca Buffon (G. Leclerc, 1707-1788). Este autor dice que el “Nombre científico” es más propio del arte que de la naturaleza. Además considera que la buena imagen de una planta o de un animal será aquella que considere todas sus características y no sólo las anatómicas o fisiológicas, siendo de especial interés el hábitat, costumbres, la descendencia, etc. Esto supone un retorno a la tradición de la enciclopedia, la cual no había desaparecido completamente del escenario ciencia-arte. La representación requiere ahora de un escenario, de un paisaje en el que el ser vivo posa como en un retrato dentro del escenario de su hábitat natural (56) (Fig. 45).

En la segunda mitad del siglo XVIII tiene lugar el denominado “Segundo descubrimiento” o fenómeno expedicionario científico desde Europa hacia América, en el que España jugó un importante papel. Este fenómeno fue consecuencia de numerosos factores, de entre los que se encuentran la necesidad de expandir los métodos de estudio científico de los naturalistas de Europa. América se reveló como un gran laboratorio e ilimitado campo de investigación. La primera expedición española a resaltar por estos propósitos es la “Expedición de límites al Orinoco” (1754-1761). En ella se pretendía llevar a cabo el estudio de flora y fauna de este río, pero fue un fracaso. Sin embargo, se elaboró un documento de instrucciones para científicos y artistas, que fue seguido en futuros viajes (55, 56, 77). Se realizaron cuatro grandes viajes en los que se desarrollaron trabajos naturalistas siguiendo las reglas de Linneo, dando lugar a la creación de herbarios y dibujos que fueron objeto de publicación. En este momento, se obtuvo el reconocimiento del dibujante como colaborador imprescindible para el investigador naturalista en los viajes, el cual se dedica a realizar importantes colecciones de dibujos que, finalmente no fueron ni grabados ni publicados en su mayoría. Esto dio como resultado la creación de la “Escuela de dibujo botánico”, primera de diseño científico en América Latina (55).

El siglo XVIII finaliza con una intensa actividad de viajes y expediciones a América, las cuales concluyen con el viaje de A. Von Humboldt y G. Bonpland por las regiones equinocciales americanas (1799-1804) (78).

Para Von Humboldt (1789-1859) debe volverse a la unión entre poesía y ciencia, de la que se ha alejado la historia natural. Para ello, se precisa de un artista que reúna las capacidades de ser estricto en lo que observa, correcto al describir y sensible al conjunto. Se trata de un artista paisajista. Sin embargo, como hemos visto, hasta el momento este artista carece de referencias en la historia del dibujo científico. No existe relación entre el artista científico y el artista pintor de paisajes, el cual está sujeto a las normas de la perspectiva y se centra en el espectador, mientras que el primero pretende realizar estampas con valor técnico, centrada en el objeto, en las que la perspectiva no tiene lugar. Humboldt, en su obra “*Cosmos*” (1874) retoma el paisajismo, encontrando los referentes en las grandes colecciones de pintura de los diferentes países europeos. Según Humboldt, el artista del paisaje debe centrarse en la vista panorámica, debe ser algo parecido a una cartografía en alzado, se trata de mostrar la naturaleza como si fuese un cuadro (Fig. 47). Las ideas de Humboldt tuvieron impacto entre sus contemporáneos. Sus viajes a lo largo del continente americano permitieron la creación de una serie de estampas sobre la naturaleza y las gentes de este

continente, con gran fidelidad taxonómica en lo referente al paisaje vegetal, unida a la subjetividad romántica (55, 56, 79).



Fig. 47. Cayambe. “*Vues des Cordillères*” A. von Humboldt (P48).

2. 6. Del Siglo XIX a la actualidad

A lo largo del siglo XIX se repiten las imágenes paisajistas (Fig. 47). La incipiente industria editorial de libros científicos intenta conseguir numerosos lectores y por ello recurre a imágenes litográficas sobre la vida de animales raros, para conseguir efectos narrativos y dramáticos, con frecuencia relacionados con viajes alrededor del mundo (79, 80).

En lo referente a la anatomía, a comienzos del siglo XIX permanecen sin resolver cuestiones tales como la relativa a las circunvoluciones cerebrales, cuyo estudio fue abordado por L. Rolando (1733-1831) y A. L. Foville (1799-1878). Se editan grandes atlas con litografías coloreadas a mano como las del atlas de N. H. Jacob (1831-1854) (P48) (Fig. 48). Por otro lado, la aparición de nuevas técnicas y aparatos clínicos, suponen la creación de nuevas formas de imagen tales como las resultantes de las nuevas microscopías (microscopios electrónicos, 1939) (Fig. 49), las endoscopias, la radiología (convencional, digital o computerizada), la ecografía, etc., todas ellas objeto de ilustración fotográfica, mediante diferentes técnicas (81, P49, P50, P51).

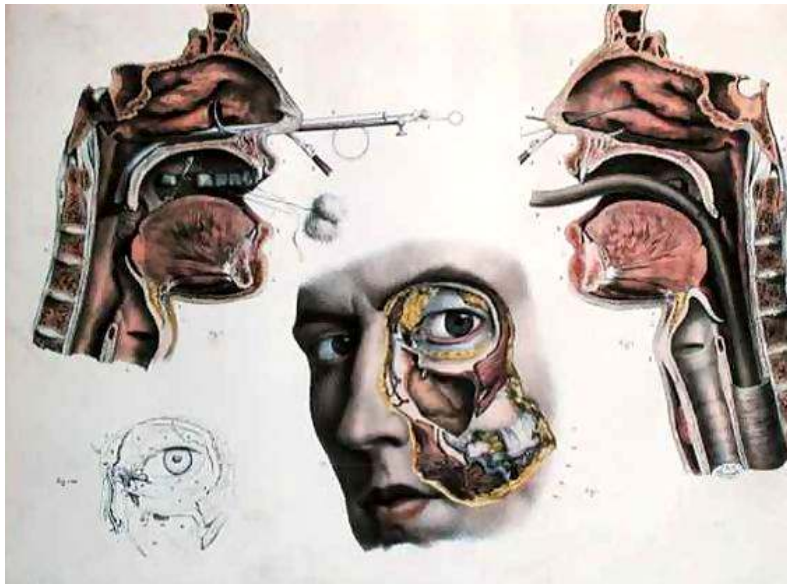


Fig. 48. Litografía del atlas de N. H. Jacob (P49).

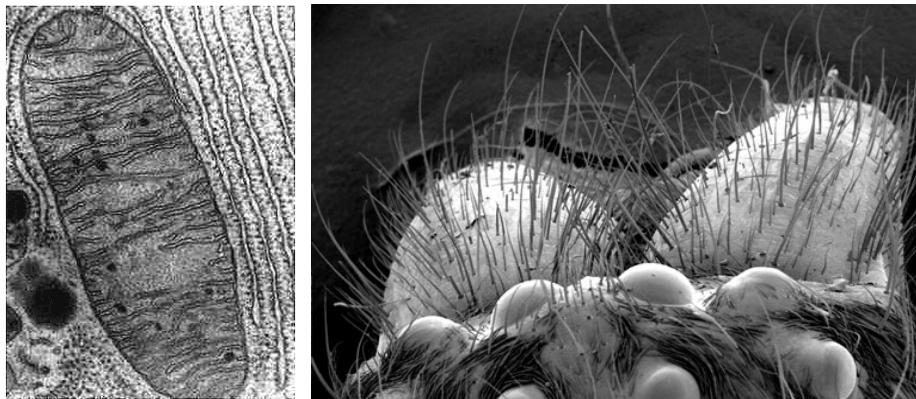


Fig. 49. Fotografías de microscopía electrónica de transmisión (Izquierda) (P50) y de barrido (Derecha) (P51).

El artista describe e ilustra todos los aspectos de la condición humana, incluida la representación anatómica como algo macabro o siniestro. A lo largo de la historia, toda situación de conflicto, enfermedad o anomalía, ha sido un factor importante en la imaginación del artista y de interés para el científico. Además, con frecuencia, el arte contemporáneo se beneficia del impacto producido por el cuerpo humano desnudo, para impresionar al espectador. Por otro lado, hay una serie de artistas y científicos actuales, fascinados por el interior del cuerpo humano, en cuanto a lugar donde se sienta la vida misma, encontrando motivos de interés en aspectos tales como la mortalidad, la identidad, el sexo, la raza, el envejecimiento, el desarrollo de funciones, etc.. En este sentido, la obra de M. Oppenheim (1964) titulada *“Rayos X de un Esqueleto”* debe ser considerada representativa de la relación ciencia y arte en la etapa contemporánea. Se trata de un autorretrato considerado ingenioso y elegante, dentro de la tradición europea de la *“vánitas”* (Fig. 50). En él, la presencia de la vida y de la muerte comparten un mismo instante y una misma fase, estando desprovisto de ansiedad o morbo (82).



Fig. 50. “Rayos X de un esqueleto” de M. Oppenheim (81).

3. Evolución de las técnicas

Las técnicas de estampación para la realización de imágenes científicas, a partir del dibujo amanuense, se reducen a cuatro: la xilografía, el grabado calcográfico, la litografía y la fotografía.

3. 1. El dibujo amanuense

La primera forma de dibujo utilizado como medio de expresión científica, tal como ocurrió con la escritura, fue el dibujo hecho a mano. Los dibujos realizados a mano por el artista, a lo largo de la historia, sobre cualquier tipo de soporte (papiro, pergamino, papel, etc.) y con diferentes materiales (carbón, grafito, creta, etc.), inicialmente resultan de una sencillez exquisita, convirtiéndose, tanto en su forma más sencilla como en su modo más elaborado, en importantes formas de transmisión de información científica y, en muchos casos, en magníficas obras de arte (Fig. 51). Los dibujos a mano, realizados previamente a la impresión

xilográfica o a la estampación calcográfica, al recrear las formas que observa el naturalista, gozan de mayor libertad creativa que las imágenes resultantes del proceso de estampación, las cuales muestran una calidad expresiva claramente inferior a la de los dibujos amanuenses de origen (“dibujos originales”) (65).



Fig. 51. Autorretrato de A. Dürero. Dibujo amanuense (P52).

3. 2. La xilografía

Técnica de estampación que consiste en utilizar una matriz de madera o taco, sobre el que se talla un dibujo de tipo lineal, copia del dibujo amanuense, que sobresale en relieve sobre el fondo tallado. El entintado de los salientes o crestas y la presión de esta matriz sobre un soporte (papel), permiten obtener la imagen y repetir el proceso. Se obtienen imágenes altamente sintéticas formadas por contornos nítidos y algunas manchas de tinta (49).

En las obras científicas impresas, provistas de imágenes xilográficas, imágenes y palabras aparecen ocupando una superficie común, en las hojas del libro impreso. Las imágenes xilográficas se sitúan primero en los márgenes de las hojas, o se incluyen entre párrafos en el texto impreso, quedando después, situadas en un espacio propio, específico e independiente (80, P53).

Dado que la finalidad del dibujo a realizar no es estética, sino científica, el elemento esencial de trazado se reduce casi exclusivamente al contorno o silueta, dibujado sobre el plano blanco como soporte (Fig. 52). En ningún caso se crean sombras o cualquier otro recurso con intención de producir volumen, se trata de

excluir cualquier elemento formal innecesario para la transmisión de la información que se pretende. Por ello, para el tallado de la superficie de la madera, se emplean tan solo sencillos punzones y gubias, evitando ir más allá de la copia exacta de lo que se observa en la naturaleza. El uso de la xilografía decae con la exigencia de profundización en la información, ya que la necesidad de representar un número cada vez superior de líneas, conlleva serias dificultades de entintado del taco de madera, impidiendo la transmisión de la información deseada. Todo lo anterior, unido a la creación y uso del microscopio a mediados del siglo XVI hacen que la xilografía se convierta en una técnica claramente insuficiente (42)



Fig. 52. Xilografía de la planta "*Eruca sativa*" G. Liberale and W. Meyerpeck. de P. A. Mattioli. (Anderson, 1977) (P32).

3. 3. La calcografía

La calcografía se rige por el principio básico inverso de la xilografía. En la matriz metálica o calcográfica, la tinta se localiza en los surcos producidos en el metal al realizar el surco del dibujo sobre este. La obtención del surco se consigue mediante técnicas mecánicas y químicas, por acción de ácido sobre los surcos del metal, permaneciendo el resto protegido por barniz (49).

Las técnicas de grabado calcográfico o grabado sobre metal, inicialmente dedicadas de modo exclusivo al servicio de la creatividad artística en los campos de la alegoría y la religión, se convierten en una clara alternativa a la xilografía en el campo de las ciencias naturales. Los dibujos realizados sobre planchas de metal poseen mayor grado de expresividad. El uso del buril sobre la plancha de metal permite que las imágenes resultantes de la estampación estén provistas de diminutos detalles minuciosos, originándose imágenes de gran sutileza artística, más fieles a la realidad que con la técnica xilográfica. En el siglo XVI, G. Paleotti (1582) hace público su "*Discorso intorno alle immagini sacre e profane*" con el que dicta las normas y principios que deben seguir los artistas de la contrarreforma en

lo relativo a las imágenes sagradas. Se trata de imágenes esbeltas, provistas de volumen, que son menos pesadas, como consecuencia del trazado de numerosas líneas delicadas, que permiten la creación de texturas y la aparición de ritmos. Desaparece la condición planométrica y surge la creación del claroscuro, que alcanza su máxima expresión en el barroco (80).

Con el uso de la técnica calcográfica, las figuras de seres vivos tienen una gran riqueza de detalle, y progresivamente, dejan de aparecer como expuestas sobre un soporte plano, sino que se presentan formando parte de un espacio propio (Fig. 53). También comienza a desaparecer la estrecha asociación entre el contenido del texto y la imagen de modo que a mediados del siglo XVII se usa comúnmente, como modo de enlace, relación y comunicación entre ellos, la inclusión de letras y/o números en las figuras, lo cual pone en relación estética, formal e informativa, al lenguaje escrito con el lenguaje por iconos (65, 80).



Fig. 53. Grabado calcográfico. “Desollado”
Historia de la composición del cuerpo humano de
J. V. Amusco (1556). (P38).

El grabado calcográfico se realiza a partir de los dibujos ya terminados (punta seca o aguafuerte). En esta época España no dispone de escuela de dibujantes ni de grabadores (83).

El procedimiento del grabado supone un mínimo de alteraciones que pueden incidir negativamente suponiendo pérdida de información. Por otra parte, el propio diseño supone un grado indeterminado de manipulación. No se ha de olvidar que desde la observación hasta el dibujo impreso intervienen diferentes personas (científico, dibujante, grabador, pulidor, estampador, grabador de letras,

e iluminadores que se encargan del color de cada una de las estampas de una tirada) (56, P53).

Los grabados de tonos o matices, son el último grupo de técnicas calcográficas. Se trata de procedimientos que consiguen distintas intensidades sin necesidad de entrecruzar líneas. De estos los más importantes son la mediatinta y la aguainta, que trata de imitar a la acuarela, que se consigue mediante adhesión a la plancha de polvo de resina. Finalmente se utiliza impresión directa de color en una o varias planchas (80).

3. 4. La litografía. Imagen a color

La litografía utiliza como matriz una piedra de carbonato cálcico, con capacidad para retener la grasa. Se realiza el dibujo sobre la superficie de la piedra, con un lápiz graso y después se trata la superficie libre de la matriz con ácido. Al retirar la grasa del lápiz de dibujo, este será la única superficie que retendrá la tinta grasa al entintar la matriz. El principal inconveniente es el peso de la matriz y la dificultad de su almacenamiento. Con esta técnica se introduce la novedad del uso del color con cierta facilidad (49).

El uso del color en el dibujo científico se presenta como motivo de discusión, desde el Renacimiento, debido tanto a motivos económicos y técnicos como de carácter teórico (42). Para Ch. Plumier (1693) la aplicación adecuada de color a los grabados exige un silueteado eficaz, sobre la base de un gran sentido esquemático. Hasta la aparición de la litografía a mediados del siglo XIX, la aplicación de color a mano en las estampas supone un obstáculo técnico (Fig. 54). Así, para Linneo (1751), el color es un aspecto que casi carece de importancia cuando se lleva a cabo una clasificación vegetal, mientras que el claroscuro es considerado fundamental para establecer proporción, forma, volumen, etc. (P44 y P45). Sin embargo, para otros naturalistas el color es considerado esencial para la clasificación botánica, ya que las imágenes deben ser un doble de la especie objeto de estudio, permitiendo y facilitando una clasificación adecuada de las especies. Como ya se ha indicado (apartado 2.5), las expediciones científicas a América, desde Europa, supusieron la creación de numerosísimos dibujos, muchos de ellos nunca publicados, que se identifican claramente por su virtuosismo, sobre todo en el uso del color. Los dibujos se elaboraban según una secuencia de tres fases. En primer lugar se realizaban los dibujos a mano, estableciendo el silueteado de las figuras a grafito sobre papel; a continuación se repasaban a tinta y se aplicaban luces y sombras, a veces se iluminaban ciertas zonas con aguadas con color; en tercer lugar, se formalizaba el dibujo, perfilando los detalles e incluyendo las figuras complementarias, que habían sido elaboradas en dibujos aparte, y se finalizaba el dibujo añadiendo color mediante aguada, así como márgenes, rótulo y firma. Esto servía tanto para dibujos de animales como para los de plantas (56).



Fig. 54. Lámina con litografía a color de una planta (P32).

3. 5. La fotografía. Técnicas modernas y actuales

La fotografía como técnica, aporta desde su creación una nueva opinión sobre la realidad. Prácticamente desde el principio es aceptada como técnica artística (49).

Durante la primera mitad del siglo XIX se realizan calcografías de tema anatómico con la técnica del punteado en color. Ya en los años setenta adquiere importancia industrial la cromolitografía. La xilografía a contrafibra tuvo una amplia difusión debido a su fácil ejecución y bajo precio. Durante la transición del siglo XIX al siglo XX pasan a adquirir preponderancia diferentes procedimientos fotomecánicos, para ilustrar los textos morfológicos, como es el caso del denominado “Medio tono a tres tintas”, utilizada en la monografía del anatomista V. M. Bechterew (1900) (P53) (Fig. 55). Con la aparición de instrumentos tales como el oftalmoscopio y el laringoscopio se inicia la ilustración endoscópica (fig. 56) en este tema destacan las figuras de las lecciones sobre oftalmoscopia de E. Follín (1862) (81).



Fig. 55. Ilustración de la monografía de V. M. Betcherew (P53).

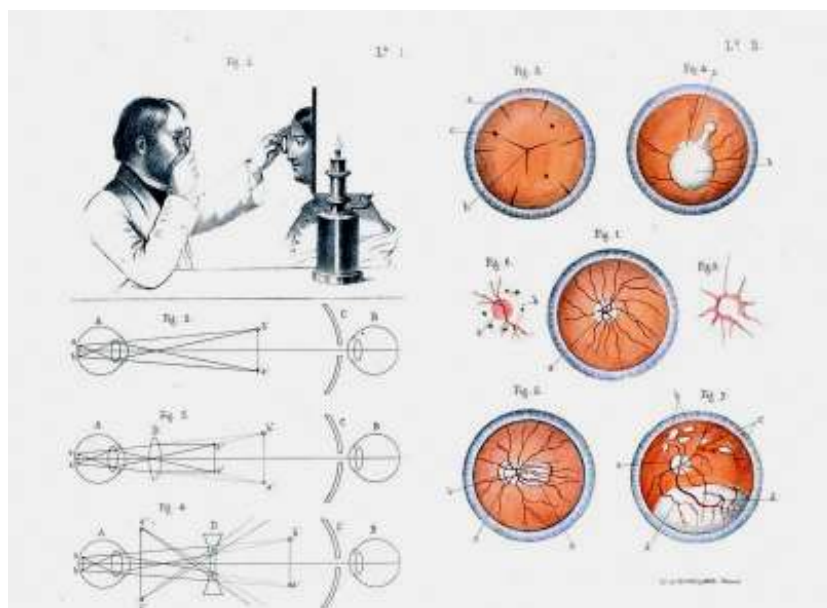


Fig. 56. "Examen de fondo de ojo con el oftalmoscopio". Litografía de A. P. Abad, para las lecciones de E. Follin sobre la oftalmoscopia (P54).

En los siglos XIX y XX, con la creación de nuevos aparatos clínicos como los radiológicos, y de investigación como la difracción por Rayos X, la microscopía electrónica, microscopía de alto voltaje, electroforesis, etc. se producen nuevos dibujos e ilustraciones que, como en los siglos anteriores, son objeto de impresión. Mayoritariamente la impresión inmediata es fotográfica (81). A continuación su representación sobre papel, para su publicación en el ámbito académico o científico, requiere de la impresión mediante diferentes técnicas, tales como la impresión offset (reproducción de documentos e imágenes sobre distintos soportes), método que consiste en aplicar una tinta, generalmente oleosa, sobre una plancha metálica, generalmente de aleación de aluminio. Constituye un proceso similar al de la litografía. También mediante impresoras por chorro de tinta e impresoras láser. Una de las técnicas más actuales es la fluoroscopia, técnica que se emplea para obtener imágenes en tiempo real de las estructuras óseas. Es como una radiografía en directo (81, P54, P55) (Fig. 57).

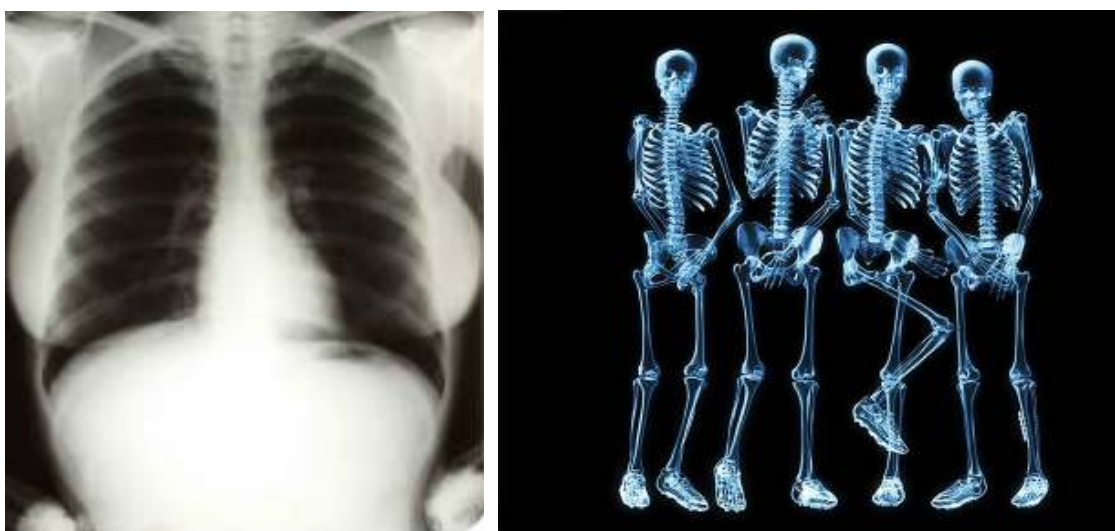


Fig. 57. Imágenes obtenidas por radiografía (Izquierda) (P55) y fluoroscopia (Derecha) (P56).

Algunos artistas contemporáneos, emplean técnicas como la resonancia magnética, la imagen térmica o la reconstrucción por ordenador, para plasmar imágenes, pensamientos o sueños. Hoy se alcanza una visión distinta del cuerpo humano y del ser vivo, en la que la microanatomía o la genética ocupan el primer lugar. La anatomía externa vuelve a ser una aventura, tan diversa como las imágenes creadas. “El artista aporta tanto una visión como un punto de vista, y trabaja con nuevas tecnologías, constantemente en renovación y diferentes, para que el observador pueda contemplar y a veces pintar, con mano tosca pero culta, además de ver las maravillas y sorpresas en ambos lados de la mortalidad” (82).

En la actualidad, todo material científico impreso, objeto de publicación, es sometido a una cuidadosa evaluación editorial. De acuerdo con el “Council of Biology Editors” de Estados Unidos, han de ser tenidas en cuenta una serie de cuestiones básicas acerca de una ilustración, para determinar si precisa de cambios, previos a su publicación. Así, toda imagen científica impresa, perteneciente a un medio científico de difusión, provisto de un cierto nivel de impacto, ha de responder a las siguientes cinco cuestiones relativas a aspectos técnicos de las imágenes (84): 1) ¿Es la ilustración exacta? (“La exactitud es el

paradigma de calidad del trabajo científico. Un dibujo bello pero inexacto es inútil para la ciencia” (54). ¿La ilustración tiene sentido y comunica lo que se pretende?, ¿Conecta las partes adecuadamente?, ¿Están las estructuras correctamente marcadas?); 2) ¿Se puede determinar inmediatamente el mensaje central de la ilustración? (¿Presenta la ilustración un elemento dominante o foco que es lo primero que se ve?, ¿Están todos los elementos de la ilustración equilibrados, permitiendo al lector determinar rápidamente cual es la parte mas importante de la ilustración?) 3) ¿Se puede decir que las estructuras están relacionadas entre si? (Una ilustración debe ser legible; la posición de los elementos, su profundidad y dimensiones, ayudan al lector a leer la ilustración correctamente); 4) ¿Proporciona la ilustración detalles apropiados? ¿Qué nivel de detalle debe mostrar la ilustración?); 5) ¿Sobrevivirá la ilustración la reducción de tamaño a la que obliga su impresión? (La reducción del tamaño no mejora el dibujo. El contraste entre blanco y negro y el espacio entre líneas y entre manchas debe ser apropiado) (54, 84, 85). La imagen que se presenta a continuación (Fig. 58) corresponde a la portada de una prestigiosa publicación actual, ejemplo de lo indicado en este punto (86).



Fig. 58. Ejemplo de ilustración actual en la portada de un libro. Editorial Wiley-Blackwell (86).

4. Los procedimientos de observación

La labor de representación científica de objetos se encuentra totalmente condicionada por el tipo y características de la visualización de dichos objetos. A lo largo de la historia, las personas dedicadas a dicha labor, producen sus obras valiéndose de tres vías distintas de observación, las cuales van ligadas a la propia evolución histórica de los instrumentos y las técnicas disponibles. Se puede afirmar que históricamente ha sido posible el desarrollo material de tres tipos de observación o visualización de los objetos tanto naturales como artificiales: La observación macroscópica, la observación microscópica y la observación analítica e interpretativa.

4. 1. La observación macroscópica.

Es posible distinguir dos etapas claramente diferenciadas. En una primera etapa, el que dibuja, el que realiza la imagen, utiliza tan sólo el ojo como instrumento de observación. Supone la observación macroscópica externa de los objetos, con fines estrictamente descriptivos, de identificación y clasificación. Posteriormente se accede a la observación macroscópica interna con la intención de proporcionar información de calidad superior y más precisa. Esta etapa se caracteriza por la producción de extraordinarios dibujos anatómicos, tales como los pertenecientes a la etapa renacentista. Una segunda etapa se inicia con el uso de lentes sencillas del tipo lupa simple, monocular, que evoluciona hasta el uso de la lupa binocular o lupa estereoscópica. Con ello se consigue el aumento de visión del tamaño del objeto. Se aplica a la observación y el dibujo de objetos y especímenes demasiado pequeños para ser observados a simple vista (Fig. 59). Con estos aparatos se consigue observar la realidad aumentada hasta más de sesenta veces. Estos instrumentos también son conocidos como lupas de disección ya que se pueden utilizar para disecar especímenes o muestras (87).



Fig. 59. Observación macroscópica de planta carnívora (P57). Insecto observado con una lupa (P58).

4. 2. La observación microscópica.

Tiene lugar gracias a la creación del microscopio como instrumento físico, el cual permite profundizar en el conocimiento de la estructura íntima de la materia. Con el microscopio, inicialmente se observan directamente los materiales, previa obtención de secciones delgadas de ellos, obtenidas mediante aparatos especiales denominados microtomos y ultramicrotomos. Posteriormente, con la fabricación de equipos sofisticados se originan diversas modalidades de microscopía, algunas de las cuales no exigen la obtención previa de secciones para la observación. Existen tres tipos de observación microscópica relacionadas con la existencia de tres tipos de microscopía, que van a estar estrechamente relacionadas con el desarrollo de las técnicas fotográficas, las técnicas informáticas y con la creación del láser. Se trata por un lado de los diferentes microscopios ópticos, por

otro de los microscopios electrónicos en sus modalidades de transmisión y de barrido, y finalmente se trata del microscopio de fuerza atómica (21, 88, P59).

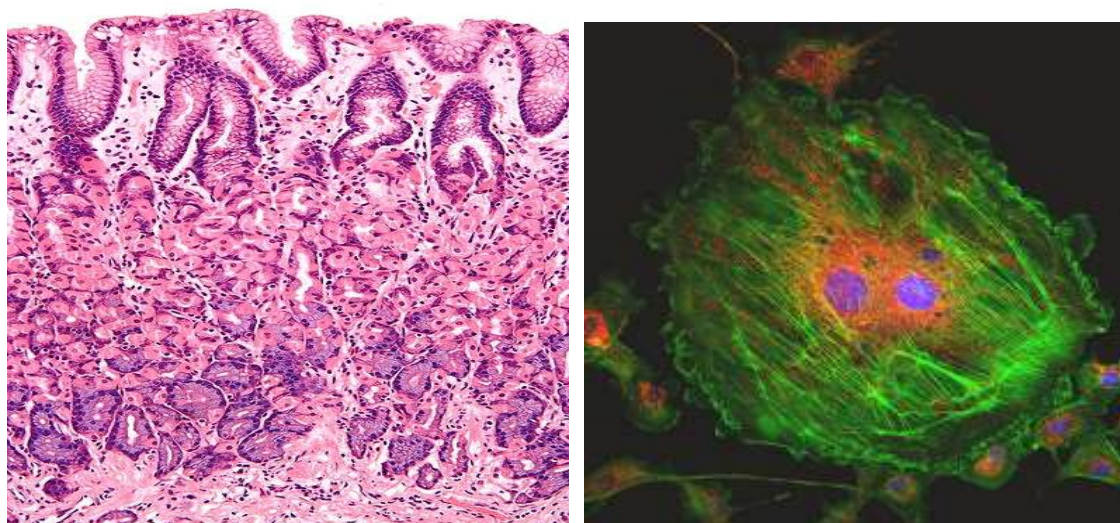


Fig. 60. Imagen de microscopía óptica (Izquierda) (P60) y de microscopía láser confocal (Derecha) (P61).

La observación microscópico-óptica varía dependiendo de diferentes tipos de microscopios ópticos existentes. El microscopio de fondo claro o microscopio óptico convencional es un aparato que permite observar objetos iluminados con luz natural o artificial, que pueden ser sometidos a la acción de colorantes u otros tratamientos, con el objeto de incrementar el contraste. Con estos aparatos se consigue observar la realidad aumentada hasta un máximo de mil veces. Consiste en la observación a través de un sistema de dos lentes ópticas acopladas, denominadas lente objetivo y lente ocular. Las imágenes son objeto de observación directa, a través del microscopio, permitiendo la realización de dibujos por parte del observador. También se aplican cámaras fotográficas al microscopio, que permiten la obtención de imágenes fotográficas tanto analógicas como digitales (Fig. 60). Más recientemente, las imágenes son objeto de tratamiento informático. La observación de material “in vitro” ha supuesto la creación del microscopio de contraste de fase. La utilización de marcadores celulares fluorescentes, ha supuesto la creación del microscopio de fluorescencia. Finalmente, la conjugación de la microscopía óptica de fluorescencia, la técnica láser y las técnicas informáticas han permitido la fabricación del microscopio de barrido confocal, que permite la observación de secciones virtuales, la observación en tres dimensiones y en cuatro dimensiones. Finalmente la microscopía virtual unida a la aplicación de programas de estudio para deconvolución, permite mejorar la definición de la imagen observable (21, 88, 89, P62).

En la observación microscópico-electrónica de transmisión: el objeto a observar es una sección delgadísima (ultrafina), obtenida con aparatos especiales denominados ultramicrotomos. La sección es sometida a la acción de un haz de electrones. Parte de los electrones atraviesan el objeto proyectando luz, y parte de ellos chocan contra la materia y proyectan oscuridad. La imagen, que consta de luces y sombras, siempre es en blanco y negro, y se recoge sobre una pantalla fluorescente o sobre material fotográfico de tipo analógico (90). Más recientemente

las imágenes son objeto de digitalización. En la observación microscópico-electrónica de barrido el objeto a observar es desecado llevándolo a punto crítico y es metalizado con una fina película de oro. La pieza biológica a observar es entonces barrida por un haz de electrones, permitiendo la obtención de imágenes tridimensionales del objeto, las cuales son observadas en un monitor. También se trata de imágenes en blanco y negro, que igual que en el caso anterior, se recogen sobre material fotográfico de tipo analógico (P50, P51). Recientemente las imágenes son objeto de digitalización y tratamiento (90, 91, P62) (Fig.61).

Finalmente, la observación microscópica de fuerza atómica se emplea para la observación al nivel de la estructura de moléculas o de átomos, que son analizados mediante el extremo de una punta metálica que recorre la superficie del material objeto de estudio (Fig. 62). Las imágenes se recogen en un monitor o mediante fotografía digital (P63).

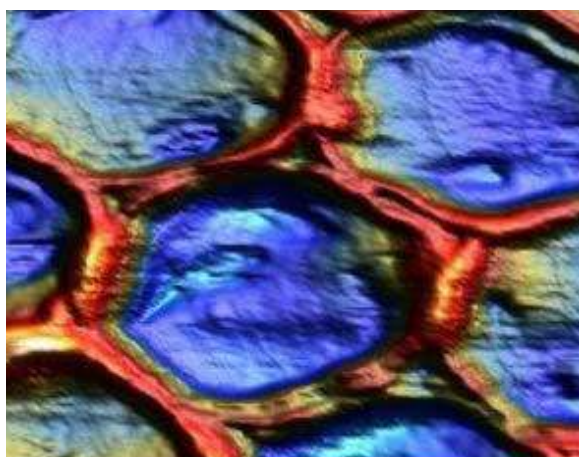


Fig. 62. Imagen de microscopía de fuerza atómica. CESIC. Madrid (P63).

4. 3. La observación analítica e interpretativa

En etapas recientes, el arte contemporáneo está prestando atención a nuevas y variadas técnicas científicas, y en particular relacionadas con la biomedicina, que permiten la representación gráfica de objetos como consecuencia de un nuevo campo de observación, se trata de la “observación analítica e interpretativa” (Fig. 63). Estas técnicas modernas permiten la observación directa o proporcionan imágenes o datos expuestos en gráficas, susceptibles de ser analizados e interpretados. Son muy numerosas y de índole muy variada, tal es el caso de la difracción con RX, la radiografía, la ecografía, la citometría, las endoscopias, las técnicas de insuflación y corrosión (Fig. 64), imagenología, intervencionismo, etc. Merece mención especial el uso de programas informáticos especiales para el diseño, como por ejemplo, algunos destinados al diseño de modelos (81, 86, 88, 91, P23) (Fig. 63).

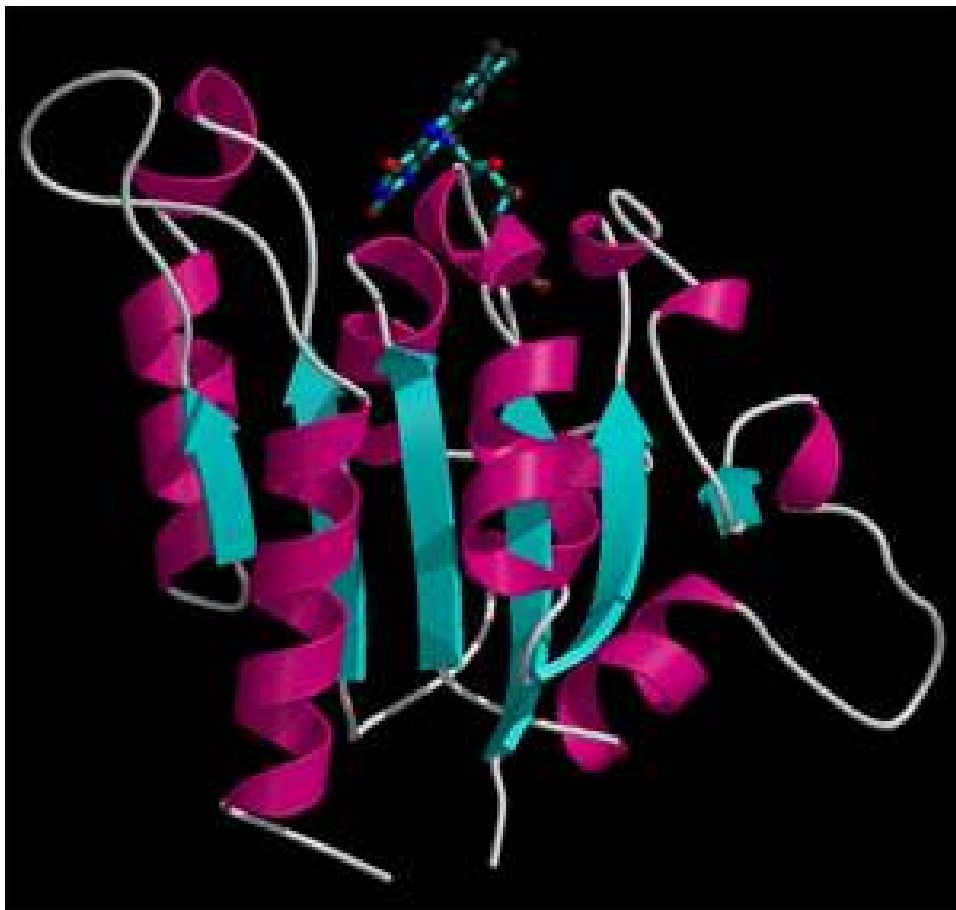
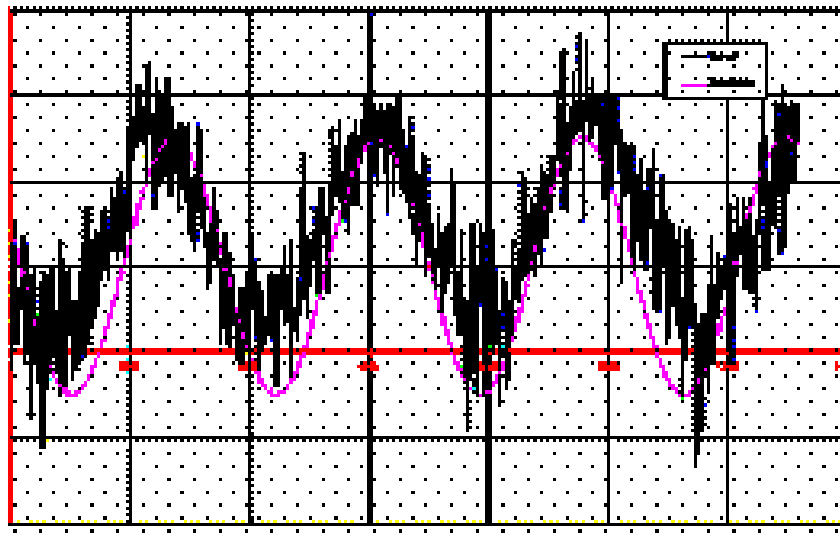


Fig. 63. Grafico de temperaturas corporales (Izquierda) y modelo molecular de una proteína (Derecha) (P23).

En definitiva, todos estos instrumentos y técnicas han proporcionado al científico-artista el medio para la observación que precede a la creación de imágenes tales como dibujos, fotografías o diseños, tanto para su estudio científico como para su tratamiento formal, estético o pedagógico.

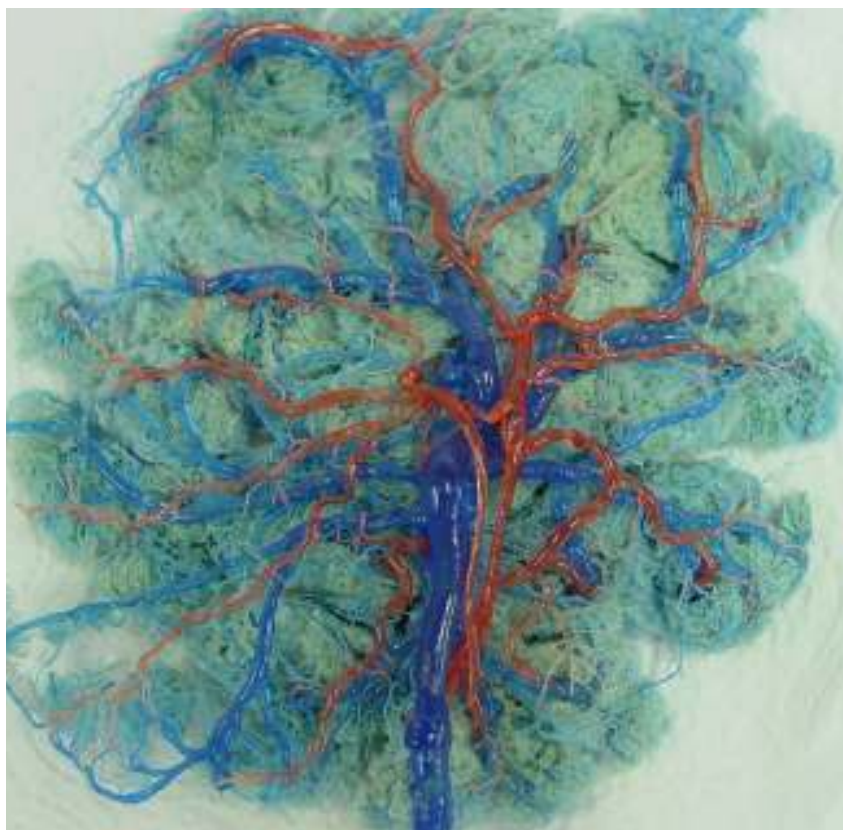


Fig. 64. Imagen fotográfica de placenta humana. Técnica de corrosión ácida (82).

5. Evolución del proceso creativo de imágenes

5. 1. Primeras etapas

Durante las primeras etapas del hombre en la tierra, no tenemos constancia sobre la intención creadora al realizar sus dibujos. Se comienza a tener información sobre este particular, en relación con los primeros dibujos hechos a mano, y dedicados al conocimiento científico en las culturas orientales y a través de los filósofos griegos. Según parece, la intención era meramente representativa y de carácter figurativo. Es sabido que diferentes dibujos realizados sobre pergamino en la edad media, tiene por objeto la representación de actividades variadas tales como las curativas. En realidad, será posible establecer una relación causal de tipo creativo, entre dibujo y ciencia en un sentido estricto, en el periodo comprendido entre los siglos XV –XVI (53).

En las culturas no occidentales, como las de China, Japón y Corea, prácticamente no hay diferencias entre dibujo, pintura y caligrafía. Cada ideograma es tanto símbolo como dibujo, sacados de la naturaleza. Los dibujos más antiguos representaban figuras religiosas, y constaban de líneas uniformes. Sin embargo, los paisajes posteriores y otros dibujos profanos incorporaban trazos caligráficos, que permitían modelar mejor la forma. Se consideraba que el color era un accesorio decorativo. Los monjes budistas Zen crearon la técnica de las 'salpicaduras de tinta', que alcanzó un gran uso en el siglo XIII. Los primeros

artistas islámicos realizaron complejas abstracciones florales y geométricas, influidos por la caligrafía árabe, y porque su religión prohíbe representar seres vivos. En dibujos posteriores, sobre todo en los de los manuscritos persas, se encuentran representaciones de escenas figurativas, consecuencia de la influencia de los estilos chinos y del realismo europeo y, sirvieron de inspiración para los dibujos realizados en Turquía y en la India durante los siglos XVI y XVII. (53, 61)

5. 2. Siglos XV-XVI

Durante los siglos XV y XVI, el naturalista se limita a realizar un dibujo resultado de su observación directa de la naturaleza, con la sensación de que se está apropiando de la esencia del ser vivo objeto de su dibujo. Pretende establecer la mayor semejanza posible entre el objeto y la imagen creada, de acuerdo con las normas del arte de esta época, que se corresponden con las propias de la teoría del arte renacentista, vigentes desde el quattrocento (80). Este, asigna un nombre al objeto motivo de observación, en el caso de que carezca del mismo, como parte esencial de su actividad, la cual pretende, como objetivo científico primordial identificar, describir y clasificar. De este modo, la imagen artística se constituye en medio de expresión de la información científica. En definitiva, el naturalista está proporcionando, de este modo, la única evidencia disponible de la existencia real del objeto. Es decir, en esta época, el naturalista-dibujante, se convierte en un científico-artista, ya que genera una imagen que tiene un valor doble: en primer lugar, supone un medio para aportar y dejar constancia de información científica, como testimonio impreso de una realidad observable; en segundo lugar, supone un medio de expresión formal y estética, que, generalmente, en absoluto es buscada o pretendida por el autor de la misma (54).

Como ya se ha indicado en el apartado 2.3., durante este periodo desaparece la relación manuscrita entre texto escrito y dibujo amanuense, estableciéndose la relación espacial entre texto impreso e imagen impresa en una misma superficie, la del papel de impresión. Las imágenes xilográficas que inicialmente se colocan en los márgenes, ahora pasan a ocupar un lugar entre los párrafos, consiguiendo la categoría de ser ubicadas en espacios propios e independientes del texto. Se observa una perfecta conjunción entre las formas de los tipos caligráficos y la línea de silueta o contorno de las figuras que constituye su elemento formal y plástico. Esta circunstancia es especialmente evidente en los Herbarios, cuya iconografía aparece desprovista de sombras y volúmenes, los cuales son considerados innecesarios debido al concepto de ilustración de esa época, supeditado a representar y reflejar lo esencial de lo que se observa en la naturaleza, desprovisto de adornos (64).

A principios del siglo XVI, los ilustradores anatomistas presentan imágenes realistas, que son el resultado de la observación directa del cadáver. Estas son desarrolladas con una técnica de grabado xilográfico muy elaborada. Aunque su finalidad era eminentemente didáctica, no se pierde por ello la intención e interés estético-artístico (54). Tenemos un ejemplo en “*De Dissectione Partium corporis*” de Ch. Estienne (1522), publicada en 1545 (P64) (Fig. 65).

Leonardo da Vinci (1452-1519), trasciende la representación de la observación superficial, fría y directa perseguida por el científico dedicado a la sistemática vegetal o zoológica, para realizar la representación de lo que sabemos o

conocemos de lo natural. Es decir, la imagen no es sustitutiva del objeto en el texto, sino que expresa nuestro conocimiento sobre el objeto tras ser analizado y escrutado. Esto exige saber ver. No se trata de mimetizar el objeto exclusivamente, sino de mimetizar también lo que somos capaces de conocer del objeto tras un análisis minucioso. Los dibujos anatómicos de Leonardo da Vinci nos informan sobre todo lo que se encuentra en el cuerpo humano, oculto a la vista por el recubrimiento de la piel. Se representa el resultado de una inestimable labor de síntesis de lo observado (67).

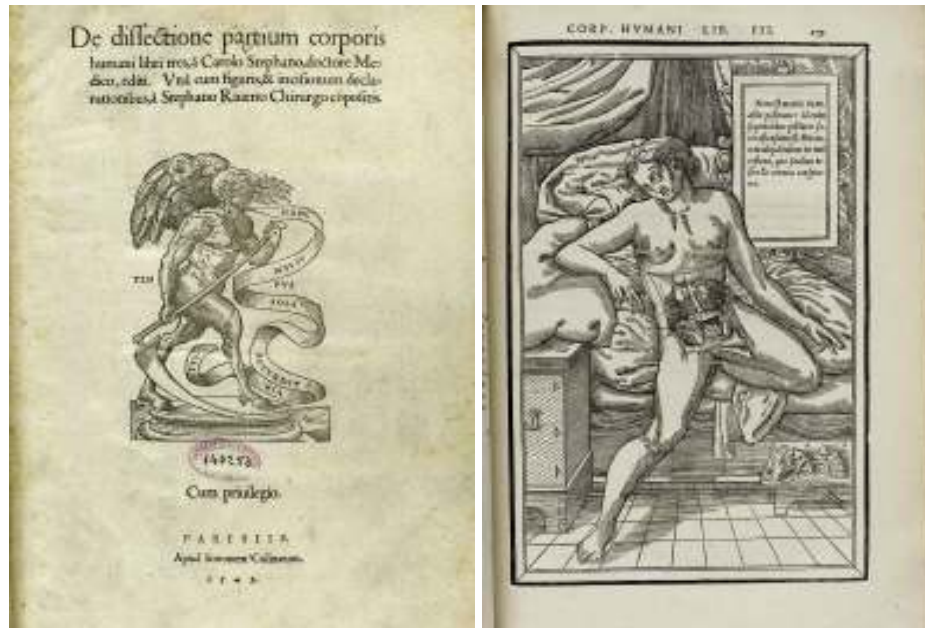


Fig. 65. Portada e ilustración de “De Dissectione Partium corporis”
Ch. Estienne (P64).



Fig. 66. Frontispicio y lámina de “De Humani Corporis Fabrica” de A. Vesalio (P37).

Los grabados de “*De Humani Corporis Fabrica*”, de carácter realista, son el resultado de la observación y experimentación, así como del interés por mostrar a un exigente público renacentista imágenes de gran belleza plástica que recuerdan a la estatuaria clásica. Algunas de las imágenes son, más que verdaderas estampas científicas, grabados de reivindicación social de la condición profesional de médico-cirujano que procede del antes cirujano-barbero, cuya actividad era considerada casi vulgar. Este es el caso del frontispicio de “*De Humani Corporis Fabrica*” de A. Vesalio (1543) (Fig. 66) (63, 67, P37).

Desde antiguo, y en particular en la etapa renacentista, la labor del dibujo científico impreso es el resultado del trabajo conjunto del dibujante-científico, el dibujante-grabador y del impresor. En ciertos casos dos o más de estas actividades recaen en un solo individuo. La obra original, tal y como se concibe en pintura, raramente se presenta en el campo del grabado en general, y de modo especial en el caso del grabado científico (56).

5. 3. Siglo XVII

Con una intención de fidelidad ante la experiencia científica, tal y como tiene lugar y es observada, los grabados de esta época recogen, frecuentemente, dos representaciones referidas respectivamente a lo externo y a lo interno. Se trata de imágenes sencillas, desprovistas de cualquier adorno. De tal modo que la imagen, se encuentra dividida en una parte superior, representando aspectos de la anatomía interna animal, es decir, lo observado con una visión científica y experimental, y una parte inferior en la que se representa lo que se observa del exterior del animal, con una visión similar a la del artista barroco de la época. La mirada tiene un sentido doble, puesto que trata de ver lo real, tanto de modo objetivo como de modo subjetivo simultáneamente (54, 56) (Fig. 67).



Fig. 67. Cameleon. C. Perrault.
“*Mémoires pour servir à l’histoire naturelle des animaux*” (P41).

Quizás el acontecimiento más destacable de este siglo es la creación del microscopio (fig. 68). Los primeros microscopistas apoyan sus observaciones en dibujos y grabados, de entre los que destacan los de R. Hook (69, P42). La imagen gráfica impresa, de lo observado al microscopio, se transforma en el medio para dejar constancia real de lo que se observa. Gracias a ella, lo que sólo pueden observar unos pocos, es transmitido a numerosas personas que no tienen acceso al microscopio. Ver y dibujar son dos partes de la misma acción (56, 69).

El diseño científico, en la Europa del siglo XVII, se produce de modo predominante en Inglaterra y Francia. El francés S. Robert (1610-1684) desarrolló una importante labor en el terreno de la ilustración botánica e impulsó la colección de dibujos de plantas y flores coloreadas sobre cuero (92, P48) (Fig. 69).

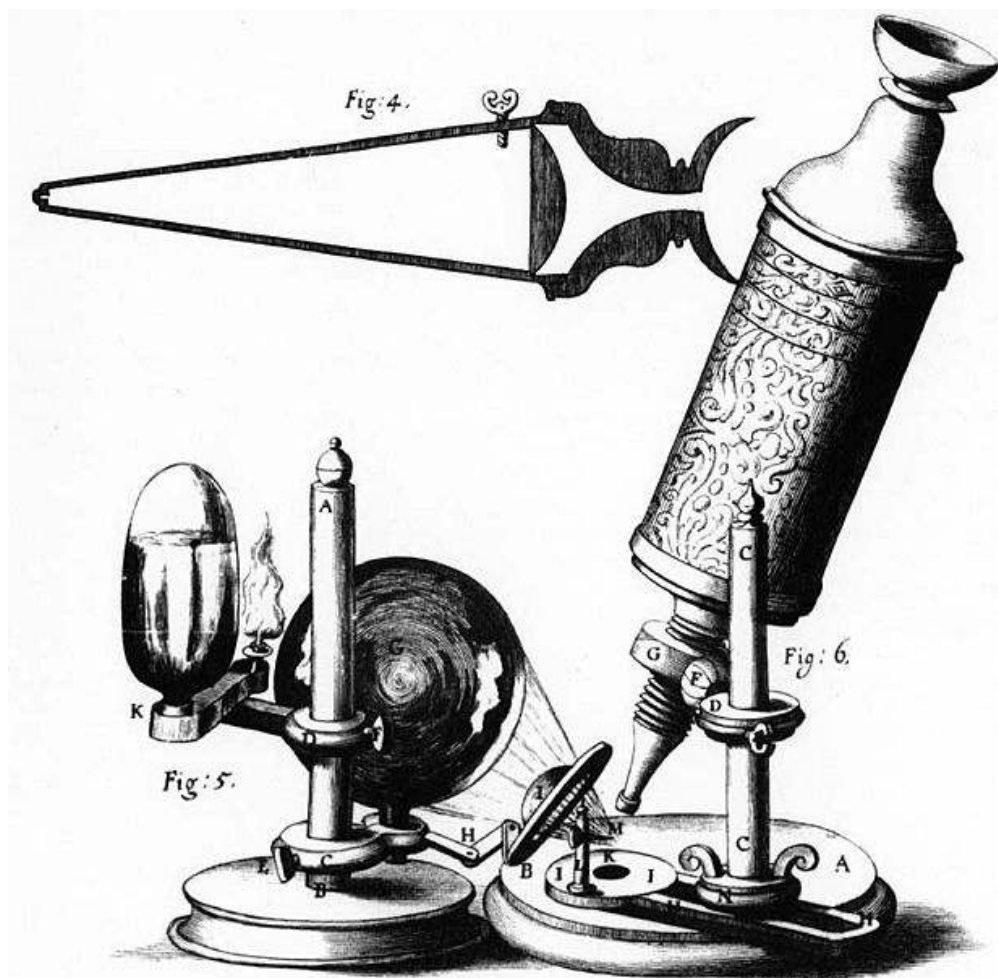


Fig. 68. Grabado de "*Micrographia*" de R. Hook en el que se muestra su Microscopio (P42).



Fig. 69. Grabado de S. Robert (P48).

El científico, observa con el microscopio según la secuencia de menor a mayor aumento que permite el microscopio, y va realizando dibujos de lo que observa, en relación con los detalles que le aporta el incremento de aumentos y la necesidad de reproducir lo observado. Los dibujos originales realizados a mano alzada (semejante a la técnica amanuense de los primeros siglos), serán más tarde objeto del grabado calcográfico para su impresión. Se crea un código de letras y números que sirven de nexo entre el texto escrito y la imagen, semejante a la relación intertexto establecida en etapas previas (93).

Los primeros dibujos microscópicos tienen un límite circular, de acuerdo con la forma que impone el campo de visión microscópica. Más tarde, con el uso de mayores aumentos, desaparece esta costumbre (69).

Un aspecto a considerar es la utilización del grabado de esta época, como el documento que da fe de la auténtica realidad científica, a través de este, la naturaleza nos muestra sus más íntimos secretos. Nos encontramos frente a un nuevo concepto, el de “Ciencia del dibujante” de tal modo que el dibujo científico, el grabado científico, es la manera real de provocar conocimiento. Se considera que la imagen es el reflejo de la realidad. Pero surge una cuestión, relativa a la forma de representar una misma observación de modo diferente, dependiendo del observador, lo cual se explica porque cada observador utiliza diferente información de partida y, porque el dibujante da una importancia diferente a la interpretación artística del hecho observado. Este último hecho llega hasta tal punto que las leyes de la teoría artística, condicionan la información científica,

haciéndola verosímil. Nos encontramos ahora frente a una actividad del conocimiento, consecuencia de la observación adecuada de la naturaleza del objeto. El dibujante científico obtiene, en primer lugar, una imagen para reflexionar y después otra en forma de grabado, para su divulgación (56).

A principios del siglo XVII la iconografía científica, y en particular la de la botánica ha adquirido un marcado carácter pictórico, las técnicas calcográficas permiten la creación de figuras de gran belleza y perfección, se han establecido ciertas normas formales, tales como la configuración de volúmenes y contrastes entre luces y sombras, que permanecerán hasta finales de este siglo. Un aspecto esencial de los grabados de esta época tanto para los estudios de plantas como de animales, es la representación de texturas, tal y como se ha indicado en el apartado 3.4. El color, es un tema de discordia entre naturalistas y diseñadores científicos desde el renacimiento. Este siempre pierde presencia a la hora de la estampación por motivos económicos, técnicos y de carácter teórico (42).

5. 4. Siglo XVIII

Durante este siglo decae, en las imágenes, la dualidad del periodo anterior, bajo el criterio de lo racional, de modo que cada área requiere sus propios usos frente a lo que se observa. Así, el experimento y estudio interior (antigua imagen superior) quedará exclusivamente para el diseño científico, mientras que el estudio de lo exterior (parte inferior) pasará a un plano secundario, casi testimonial. A finales de este siglo, con el resurgimiento de la unión entre ciencia y arte en un mismo plano naturalista, ambas visiones e imágenes volverán a verse integradas, pero en un ámbito de significación completamente distinto, esto se observa en la iconografía de A. von Humboldt A. (56).

Con la obra “*Hortus Cliffortianus*” de C. Linneo (1707-1778) aparece un nuevo modo de representación en la iconografía botánica, que ha sido denominado “Figura tipo”, consistente en la representación de una figura que la domina, a la cual se remiten otras figuras incluidas en el mismo dibujo, que están relacionadas con la “figura tipo” (P46). De ella se deriva el “Nombre científico” que con fines de referencia se encuentra incluido en la imagen, nombre que se aleja del lenguaje cotidiano, con el que se identificará al ser vivo representado (planta o animal). Se trata de un lenguaje que será, como otro modo de representación nuevo, al servicio de la ciencia. Las figuras se representan de forma esbelta y bella. Se trata, por tanto, de una realidad representada mediante un doble lenguaje, el propio del dibujo y el lenguaje científico. Se representan de este modo verdades resultado de la observación y el razonamiento (75, P44, P45) (Fig. 70).



Fig. 70. Imagen de “*Hortus Cliffortianus*” de Linneo. Obsérvese la “Figura tipo” y el “Nombre científico” (P46).



Fig. 71. Grabado calcográfico de “*Histoire naturelle, générale et particulière*” de Buffón (P39).

Con las propuestas del conde de Buffón (G. Leclerc 1707-1788) (P39), se retoma la tradición enciclopedista, debido a que considera que es esencial tener en cuenta, la representación del medio en el que se desarrolla la actividad y costumbres del ser vivo, lo cual requiere el desarrollo de imágenes muy distintas a las propuestas por los naturalistas defensores de la sistemática. Esto supone reconsiderar la imagen dual propuesta en el siglo XVII, en la que se representaba la anatomía interna del animal, y por otra parte lo externo. Ahora se tenderá a introducir al animal en un escenario o paisaje. Se trata de utilizar un lenguaje artístico de carácter narrativo, en contraste con el descriptivo propuesto por los naturalistas sistemáticos. Lo pictórico se hace dueño de la representación, por encima de lo científico, tal y como es entendido en ese momento. Este tipo de iconografía alcanza su máxima expresión a finales del siglo XVIII y, sobre todo, en el siglo XIX (Fig. 71). Finalmente, con Humboldt, el paisaje consigue la máxima preponderancia (56) (Fig. 72).

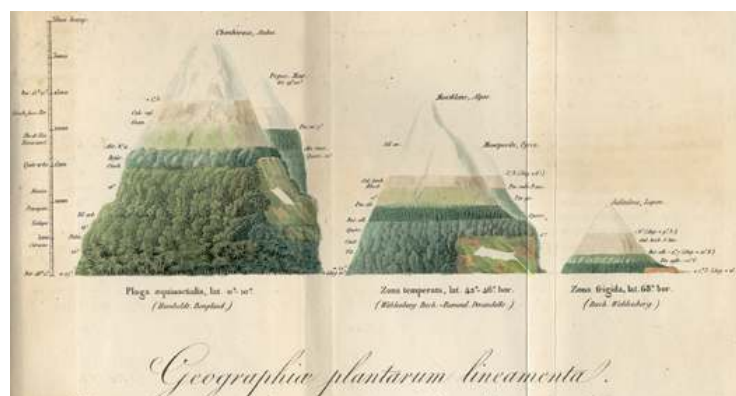


Fig. 72. “*Lines of the geography of plants*” A. von Humboldt (55).

5. 5. Del siglo XIX a la actualidad

Durante la primera mitad del siglo XIX, se realizan calcografías de tema anatómico. Se continúa utilizando los procedimientos de etapas anteriores, incluso en el caso de la microscopía óptica más avanzada, a través de la que se realizan observaciones, que son objeto de cuidadosos dibujos, los cuales son, a su vez, objeto de impresión mediante los métodos previamente utilizados, hasta que se produce la aparición de técnicas y aparatos nuevos para el estudio o la investigación científica (P65). A partir de este momento, la ciencia y el científico, artista o no, se limitan a recoger la información de modo directo a partir de los aparatos, generalmente mediante fotografías o soportes especiales tales como los radiológicos. Más tarde, con la aparición de los ordenadores, se obtienen directamente en soporte informático (P53, P62). La creación de la fotografía modificó por completo la utilidad y el alcance de la ilustración científica, que mantuvo su valor como herramienta al demostrar una eficacia insustituible en los detalles. Con la aparición del ordenador, esta tecnología favorece la producción de imágenes, y la resolución de los más recónditos detalles gráficos. Sin embargo, también es cierto que persiste una gran parte de la ilustración, que sigue siendo objeto del trabajo, de la exactitud y de la observación humanas, ya que, el investigador artista ha de procesar las imágenes, mediante fotografía digital o a través de programas de ordenador, para su posterior impresión sobre el soporte deseado, utilizando las técnicas y aparatos de impresión más actuales. Durante esta etapa, ha sido motivo especial de creatividad expresiva la imagen observada al microscopio. La trayectoria neurohistológica de diferentes investigadores desemboca en la creación científica y artística de Santiago Ramón y Cajal (10).

En el arte contemporáneo, el uso de tecnologías de tipo científico, en particular las de carácter clínico, son herramientas atractivas e impredecibles. Del mismo modo, lo son materiales tales como plásticos, resinas, cera o fibra de vidrio para la representación de la anatomía del cuerpo humano. El artista presenta imágenes o figuras que pretenden crear analogías entre dibujo o escultura y actividades científicas tales como la cirugía (Figs. 73 y 74). Esto lo consigue creando obras paradójicas, que emplean la rigidez o la luz o cualquier otro medio o cualidad material, para describir y evocar ritmos esenciales de la vida. Es representativa la obra de A. Catrell titulada “*Acceso*” (1998), que ilustra la ambigüedad de lo sólido y lo reflejo, representados mediante realidad y sombra, objeto y espíritu. La obra ha sido realizada por la respiración de la artista soplando y creando un sistema cardio-respiratorio de vidrio (82) (Fig. 73). Como podemos comprobar, el arte contemporáneo no conoce límites en cuanto a medios, soportes, técnicas o temática dentro de la relación ciencia y arte. Resultan realmente interesantes los resultados del proceso creativo del científico artista al aplicar la técnica de corrosión por ácido, previa inyección de resina o plástico coloreado, y polimerizable, en el sistema circulatorio, observándose la relación esencial entre ilustración científica y arte. Obras que son creadas, tanto para la investigación clínica como para el mundo del arte o para la docencia. Es ejemplo de ello la obra del Doctor G. Hagens (2002) en la exposición “*Mundos Corporales*” (Fig.74). Este tipo de trabajos parecen tener sus antecedentes en los trabajos de los anatomistas del siglo XVII que diseccionaron nervios y componentes del sistema

circulatorio para crear mapas complejos que, situados sobre madera, se sometían a la acción del barniz (82).

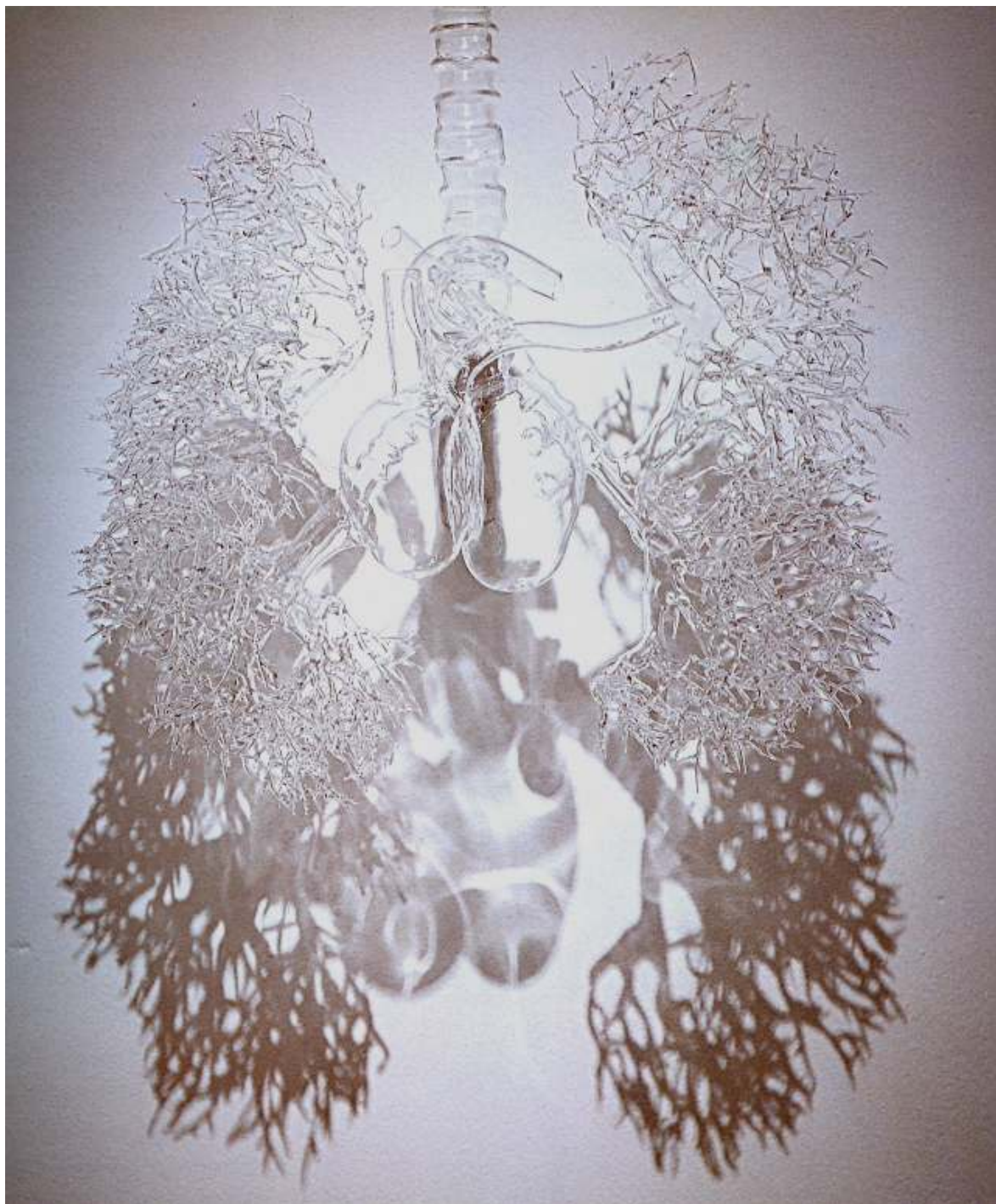


Fig. 73. “*Acceso*” de Castrell, A. (1998). La obra cuestiona e ilustra sustancia y mortalidad (82).



**Fig. 74. “Antebrazo con mano” G. Hagen.
Presentada en la exposición “Mundos corporales” (82).**

Como hemos visto, durante cientos de años, la ciencia y el arte se han complementado mutuamente. Dibujos y esquemas han sido y son esenciales para comunicar información científica (84). Desde el siglo XIX (Fig. 75) y de modo especial en el momento actual, la ciencia dispone de medios impresos, para la difusión, casi ilimitados, a través de un panorama de publicaciones en libros y en revistas, cuyos índices de impacto o de citación son susceptibles de ser cuantificados, como mecanismo para establecer el nivel de calidad de las mismas (94, 95, 96). La ilustración científica no está resultando ajena a este control. Por lo general, los artistas profesionales producen la mayoría de las ilustraciones, aunque algunos científicos producen sus propias ilustraciones. En ambos casos, las ilustraciones son objeto de evaluación. Las editoriales científicas de todo el mundo precisan plantearse, de modo continuo, la cuestión de calidad y oportunidad del uso del material gráfico que se les remite para su publicación, de modo que todo editor precisa de unas normas mínimas en este sentido (84, 85), como ya hemos comentado.



Fig. 75. "Sistema de transmisión de la luz eléctrica" Molera y Cebrian (Barcelona).
Portada del Scientific American de junio de 1879 (P66).

5. 6. El futuro

Los cambios producidos en la tecnología están permitiendo nuevas técnicas de ilustración. Algunos artistas han sustituido lápices y pinceles por el ratón del ordenador. No obstante, se observa que el uso de los medios convencionales no está siendo eliminando. Ideas nuevas son transferidas continuamente mediante sencillos esquemas o dibujos sobre papel. El científico actual, tanto en sus labores de campo como en las de laboratorio, además de llevar consigo un ordenador o tableta y móvil, va provisto de medios de escritura o dibujo convencionales, los cuales utiliza constantemente (86). Está claro que existen ventajas e inconvenientes en la ilustración por ordenador. Pero, en definitiva, lo importante no es si una ilustración científica ha sido realizada con uno u otro método. Lo esencial es que la ilustración alcance al fin la calidad deseada y cubra los objetivos planteados. Los editores habrán de evaluar cada ilustración propuesta. Ningún investigador-artista debe olvidar que las ilustraciones de los trabajos científicos publicados hoy en revistas o libros, podrían estar colgados en las galerías de arte del mañana (84). A

continuación se muestran las portadas de dos ediciones de un texto, como ejemplo de la ilustración científica actual (97, 98) (Fig. 76).

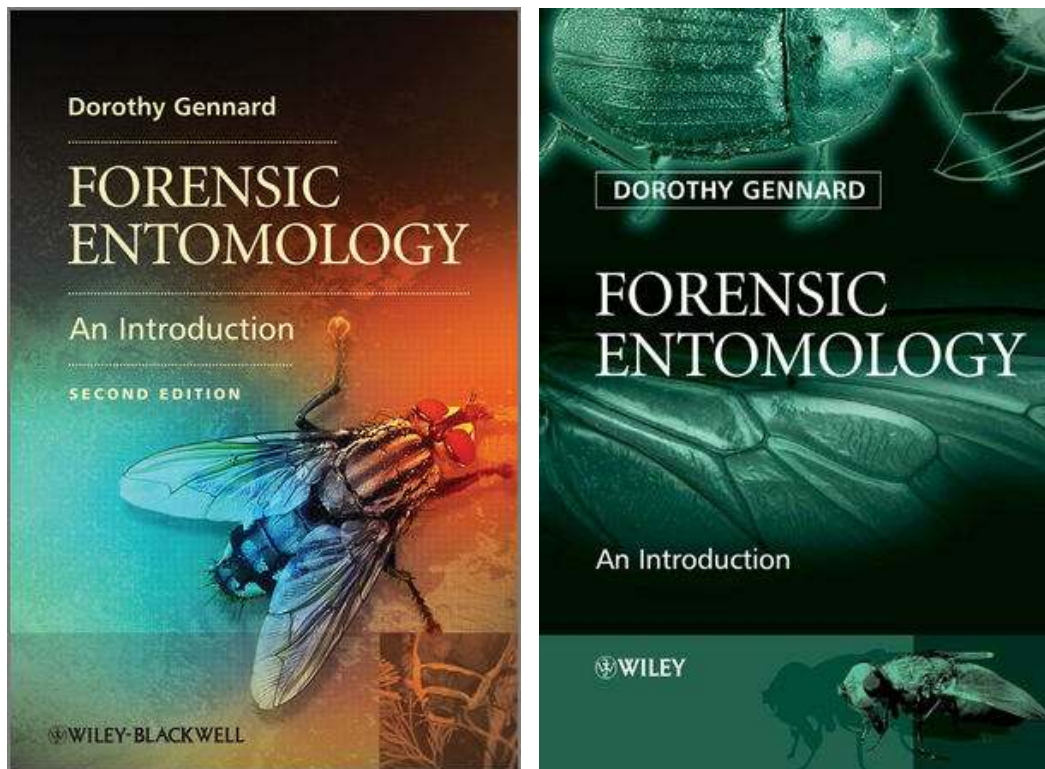


Fig. 76. Portadas de ediciones consecutivas de un mismo libro (97, 98), mostrando ilustraciones científicas actuales de gran calidad.

* Los dibujos y las fotografías que hemos presentado en este apartado de “Revisión Bibliográfica” proceden de los publicados en los textos, los artículos o las páginas de Internet citadas en la sección “Bibliografía” de la presente tesis, de acuerdo con las citas incluidas en el texto.



MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se abordan tres aspectos que, aunque diferentes, están estrechamente relacionados. El primero se refiere a las fuentes de información y a las fuentes de iconografía consultadas y utilizadas para desarrollar la presente tesis doctoral. El segundo, tiene por objeto considerar los materiales y métodos artísticos usados por Santiago Ramón y Cajal, para la realización de sus dibujos histológicos, así como los materiales y a la metodología de laboratorio, utilizados en sus investigaciones sobre la estructura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Estos últimos, permitieron la realización de las preparaciones microscópicas a partir de las que desarrolló los dibujos objeto de la presente tesis.

1. Fuentes de información y de iconografía

Para el desarrollo del presente trabajo, hemos recurrido a los dos tipos de fuentes de información posibles:

1. 1. Fuentes directas

Como fuente directa hemos recurrido a los dibujos originales depositados en el Instituto Cajal del CSIC, institución donde se encuentran localizados la mayor parte de ellos. Hemos podido contactar con los dibujos allí cuantificados y clasificados. El contacto directo con los mismos, nos proporcionó información y experiencia de carácter absolutamente insustituible, como base para el estudio comparativo entre la obra original y la obra impresa (Ver ANEXO).

Por expreso deseo de Santiago Ramón y Cajal (1931) y gracias a la posterior cesión de su familia, se encuentran desde el año 1931 en el Museo Cajal del Instituto Cajal (CSIC, Madrid, España), más de 30.000 objetos tales como láminas, dibujos, fotografías, pinturas, blocs de notas, cartas, manuscritos, diplomas, certificados, cámaras fotográficas, material científico (microscopios, microtomos, preparaciones histológicas, reactivos, material de laboratorio, proyectores, etc.) y diferentes objetos de su uso personal (fonógrafo, telescopio, periódicos, revistas, cerámicas, mobiliario, vestuario, condecoraciones, premios, etc.) (Figura 77).



Figura 77: Detalle de diversos objetos pertenecientes a Santiago Ramón y Cajal. (P67).

Los dibujos científicos de Santiago Ramón y Cajal han sido agrupados para su estudio, por distintos autores, siguiendo diferentes criterios, tales como el área científica a la que pertenecen, las técnicas de tinción utilizadas al realizar las preparaciones histológicas, la especie animal objeto de estudio, la fecha de su realización, o se han conjugado varios de estos criterios. Considerando la disciplina científica a la que pertenecen, y en consonancia con la clasificación de las preparaciones histológicas que fueron observadas al microscopio para su realización, los dibujos científicos de Cajal se clasifican en tres grandes apartados, Histología, Anatomía Patológica y Microbiología (18, 19, 99).

En la presente tesis doctoral consideraremos solamente los correspondientes al área científica de la Histología, de los que se conservan un total de mil quinientos diecinueve dibujos. De ellos, doscientos treinta y ocho corresponden al estudio de los diferentes tejidos animales (Epitelial, Conjuntivo, Cartilaginoso Óseo, Sangre, Muscular y nervioso) (24, 99), mientras que otros mil doscientos ochenta y uno corresponden al estudio de diferentes órganos y Sistemas (Respiratorio, digestivo, reproductor, urinario, endocrino, circulatorio y nervioso). Es en este segundo apartado en el que se incluyen, principalmente, los dibujos que Cajal realizó durante el estudio microscópico de la estructura del Sistema Nervioso (99, 101), que serán objeto de nuestra atención.

Debido a que lo que pretendemos es el estudio de estos dibujos desde una perspectiva exclusivamente artística, no corresponde aquí el estudio individual y pormenorizado, ni la descripción de la intención o el contenido científico de cada uno de ellos, sino que se procederá al estudio de conjunto de las características formales, técnicas, plásticas, expresivas y, en definitiva, artísticas del conjunto de los mismos. Se incidirá, individualmente o por grupos, en aquellos dibujos considerados representativos de alguno o algunos de los aspectos antes citados. Además, con la intención de abordar los antecedentes artísticos presentes en dibujos similares, producidos por otros autores, en torno a la figura de Cajal, también prestaremos atención a algunos dibujos, representativos de autores previos y de autores coetáneos de nuestro premio Nobel. Algunos de los dibujos que estudiaremos, han sido obtenidos a partir de diferentes fuentes bibliográficas. Sin embargo, un número importante de los dibujos objeto de nuestro trabajo, han sido obtenidos mediante escaneado de los seleccionados para la última edición impresa de la “Histología del Sistema Nervioso del hombre y de los vertebrados” (6, 102, 103).

Para llevar a cabo la selección de dibujos que se incluyen en la sección “Resultados”, hemos tenido en cuenta los siguientes criterios artísticos y científicos:

1º. Presentar, a modo de introducción, algunos dibujos de investigadores anteriores y coetáneos de Cajal, para que sirvan como referente de los antecedentes de estructura y forma, y de su relación histórica con los descubrimientos científicos en este campo.

2º. Utilizar los apartados científicos abordados por Ramón y Cajal, como medio para establecer el orden de presentación de la selección de sus dibujos.

3°. Elegir, de entre los dibujos que realizó Santiago Ramón y Cajal para ilustrar cada apartado científico, una muestra representativa de los principales aspectos y elementos estético-formales que el autor trató en los mismos (estructuras, formas, composición, distribución de elementos, etc.).

4°. Considerar el uso de las técnicas de tinción utilizadas por Cajal en cada área científica, como base para el estudio de la relación estética forma-color en las estructuras dibujadas.

5°. Presentar un pequeño grupo de micrografías, representativas de secciones microscópicas semejantes a las que produjo y estudió Ramón y Cajal, al objeto de posibilitar la comparación entre lo que se observa al microscopio y lo que Cajal representó en los dibujos.

1. 2. Fuentes indirectas

Como fuentes indirectas hemos utilizado la información e iconografía presente en la literatura, tanto la correspondiente a publicaciones científicas en libros y revistas especializadas, como la localizada mediante consulta de material en Internet. Un listado completo de la misma se puede encontrar en la sección “Bibliografía” de esta tesis.

La mayor parte de la iconografía presente en libros y documentos fue obtenida mediante consulta de textos de adquisición personal, y mediante consulta de los libros y documentos de acceso gratuito, presentes en Internet, o mediante consulta de los existentes en diferentes bibliotecas nacionales, incluida la de la Universidad de Murcia.

Las publicaciones correspondientes a trabajos en revistas científicas, han sido consultadas a través de los medios informáticos de que dispone la Universidad de Murcia, y en menor medida, mediante consulta directa en Copias de artículos o de tesis doctorales facilitados por los autores de los mismos.

2. Materiales y métodos utilizados por Cajal

2. 1. En los dibujos histológicos

Considerando que la función principal, asignada por su autor a estos dibujos, fue la de soporte y apoyo a los descubrimientos científicos de su trabajo, o la de ser expuestos en el aula con fines didácticos, el primer aspecto a considerar será el relativo a las características del soporte artístico. Cajal utilizó, con esta intención, dos tipos de soporte, papel de escritura o papel de dibujo, de diferentes calidades y papel de estraza. En los dibujos originales se puede comprobar que el papel blanco ha amarilleado con el tiempo.

En cuanto a formatos, se encuentra una gran variedad de formatos en su obra. Para los dibujos histológicos, utilizó papeles completos correspondientes al formato tipo, para el papel de escritura (tamaño cuartilla de 21,75 cm. x 15,75 cm. o folio de 21,5 cm. x 31,5 cm.), así como fragmentos de estos tipos de papel, que en algunos casos constituyen auténticas miniaturas. En contraste, también utilizó el formato mural (más de un metro de altura por más de 80 cm. de ancho), para el

que utilizó papel de estraza con grosor fino y de baja a media calidad, con fondo de color (blanco, marrón o azul).

Si se tiene en cuenta que la intención de Cajal, al realizar estos dibujos, era la reproducción de una realidad observable, como materiales de diseño utilizó aquellos que, de forma sencilla, permitiesen reproducir las imágenes que observaba (fundamentalmente líneas y contornos, delimitando superficies de figuras). Utilizó lápiz de color o de grafito, plumilla y pincel. Como técnica de expresión utilizó la línea o la mancha y a veces el sombreado, producidos con lápiz, tinta china a plumilla, o aguada de tinta china a pincel. También empleó el carboncillo, el lápiz graso y lápices y tizas de colores, estas últimas en el caso de los murales docentes.

Algunos de los dibujos de Cajal muestran pequeñas correcciones que probablemente fueron realizadas utilizando un material blanco graso o céreo, compuesto mayoritariamente por estearina (102, 103) (Ver ANEXO).

2. 2. En el laboratorio de histología

"Como el fondo no teñido se muestra totalmente transparente, y como de ordinario los corpúsculos impregnados son pocos, desaparece ó se aminoran notablemente aquella dificultad extraordinaria de interpretación ofrecida por el plexo nervioso intersticial de la sustancia gris, examinado en los cortes finos coloreados con carmín ó con hematoxilina" (8).

Existen numerosos tratados sobre elementos de técnica micrográfica para el estudio del sistema nervioso (104), de fácil acceso en librerías y bibliotecas. Consideramos que no corresponde a nuestro trabajo el tratamiento detallado de este tema. Los lectores interesados en los distintos métodos para reproducir las imágenes del microscopio, así como el material utilizado por Cajal para realizar sus dibujos, pueden consultar la propia obra de Cajal, en particular su libro titulado "*Manual de histología normal y de técnica micrográfica*" (105).



Fig. 78. Laboratorio de Santiago Ramón y Cajal en el CSIC (P68).

No obstante, es del todo imprescindible tomar en consideración, de modo básico, algunos aspectos de las técnicas que sustentaron la observación y la creación de los dibujos que son objeto de esta tesis doctoral, a fin de que puedan ser comprendidos determinados aspectos artísticos de los dibujos, tales como la relación entre los colores de estos y las técnicas empleadas, o la relación existente entre las técnicas esenciales que utilizó Cajal y la técnica fotográfica que se desarrolló, paralelamente a los estudios de Cajal sobre el Sistema Nervioso. Para ello, trataremos de establecer lo primordial, de modo cronológico.

Los primeros estudios exigieron una laboriosa técnica de disociación mecánica de las células del tejido nervioso, mediante finas agujas, o de disociación química mediante tratamiento con diferentes reactivos. Este procedimiento había sido utilizado, previamente por varios autores (106), y la técnica resultaba eficaz en el estudio del sistema nervioso periférico, pero no en los tejidos del sistema nervioso central, debido a las largas y delgadas prolongaciones entrecruzadas de sus células.

El método de tinción que Cajal necesitaba, y con el que soñaba, ya existía y era obra de Camilo Golgi (1873), histólogo italiano de la Universidad de Pavia. Método ya publicado, pero poco conocido, consistente en endurecer durante varios días fragmentos de sustancia gris del cerebro, en una solución de bicromato potásico, o en una mezcla de esta solución con otra de ácido ósmico, para someterlos finalmente a la acción del nitrato de plata. Este método produce un precipitado de bicromato de plata que impregna de modo nítido los cuerpos de las neuronas y sus prolongaciones, que aparecen teñidos de color marrón negruzco (se trata de la denominada “*reazione nera*” (“reacción negra”). Pero, este método daba resultados inconstantes (15).

Cajal se dio cuenta de que, como el recorrido de las prolongaciones celulares era de varios milímetros e incluso centímetros, resultaba imposible hacer su seguimiento en secciones delgadas de tejido, por lo que procedió al uso de secciones histológicas gruesas. Además, Cajal perfeccionó el método de Golgi (1873), mediante la técnica de la doble impregnación, consistente en repetir la técnica dos veces consecutivas sobre el mismo tejido. De este modo, logró obtener una impregnación excelente y constante de las células nerviosas, incluso en estructuras nerviosas de difícil tinción, como en ganglios espinales o en la retina (105).

Los científicos de ese momento estudiaban el sistema nervioso del individuo adulto, en los que la frondosidad y desarrollo de las prolongaciones celulares es enorme, dificultando la observación de las células de modo individual. Cajal tuvo la genial idea de realizar sus estudios, en material de individuos en fases tempranas del desarrollo del tejido nervioso, antes de que estén formadas las vainas que envuelven las fibras nerviosas. De este modo, consiguió observar al microscopio las neuronas, con sus prolongaciones, que destacaban teñidas de oscuro a negro sobre el fondo claro, amarillo anaranjado, de la preparación, con total nitidez (102).

Durante el año 1896 y parte de 1897, Cajal había empleado el “*Método de la reacción vital*” consistente en inyectar el colorante azul de metileno en animales vivos o recién muertos, permitiendo visualizar las células nerviosas con sus prolongaciones, teñidas de color azul intenso, volviendo a identificar las estructuras que había identificado con el método de Golgi (1873). Esto fue de gran

importancia, ya que se demostraba la existencia de una realidad única mediante dos métodos diferentes. Todo esto permitió que, a finales del siglo XIX, se conociese perfectamente la morfología externa de la neurona. Sin embargo, todas estas técnicas no permitían ver el interior de la neurona.

El investigador S. Apathy, en 1897 (106) pudo observar una red fibrilar intracelular (red neurofibrilar), utilizando como fijador cloruro de oro. Con esta técnica, la red neurofibrilar aparecía teñida de color violeta. Esta técnica sólo daba buenos resultados, aunque inconstantes, en invertebrados (107). El fisiólogo A. Bethe (1903) propuso otro procedimiento de combinación de molibdato de amonio con azul de metileno, que permitía ver teñidas de color violeta las neurofibrillas en vertebrados. Pero, la tinción era tan pálida que, apenas destacaba sobre el fondo granuloso del citoplasma. Cajal intentó resolver este problema utilizando óxido de plata amoniacal, cloruro de oro con tanino y ácido pirogálico. Pero no obtuvo resultados aceptables. Luis Simarro (1900) logró, en definitiva, un método que daba resultados aceptables, consistente en intoxicar al animal con yoduro potásico y posterior inmersión, durante varios días, de fragmentos de tejido nervioso del animal, en solución de nitrato de plata, para que se formase bromuro argéntico. Tras endurecer los fragmentos de tejido en alcohol, se obtenían secciones en completa oscuridad, para exponerlas después a la luz y revelarlas en un cuarto oscuro, empleando un reductor fotográfico, como el ácido pirogálico o la hidroquinona. Se trataba de una técnica basada en el procedimiento de revelado fotográfico, que recibió el nombre de “*Método fotográfico de Simarro*” Esta técnica daba resultados excelentes en neuronas de la médula y del bulbo raquídeo (108). Cajal intentó mejorar este método cuyos resultados eran inconstantes, sin conseguirlo. Cajal encontró la solución al problema de tinción de las neurofibrillas citoplásmicas empleando nitrato de plata caliente, calentando durante cuatro días en estufa, y tratamiento posterior con ácido pirogálico en la oscuridad. Cajal observó, no sólo las neurofibrillas, sino que también pudo ver los cuerpos, dendritas y axones de las neuronas, teñidos de color negro o rojo ladrillo. De este modo tuvo lugar el inicio de la “*Técnica de la plata reducida de Cajal*” Fue un método ampliamente aceptado y utilizado, debido a la constancia de los resultados obtenidos y transparencia de la coloración, pero también, por su sencillez de realización (104).

Durante los años 1912 y 1913 Cajal intentó conseguir un método de tinción que permitiese observar el aparato de Golgi y las células de la glía (segundo tipo celular del tejido nervioso). Comprobó que, utilizando nitrato de urano como fijador y posterior aplicación de nitrato de plata reducido, se teñía de modo excelente el aparato de Golgi, de color negro y con formas y localizaciones muy variadas (109). Pero también aparecían teñidas las mitocondrias y las células de la neuroglía. Fue Nicolás de Achúcarro (P69), colaborador de Cajal, quien, trabajando en el laboratorio de éste, consiguió un primer procedimiento para teñir las células de la glía en la sustancia blanca del sistema nervioso, pero no conseguía impregnar la glía presente en la sustancia gris. Cajal resolvió el problema utilizando oro sublimado, el cual le permitió observar por primera vez la existencia de dos tipos de astrogía (protoplásmica y fibrosa) (110). En 1918 Pio del Rio-Hortega (33) empleando un método de su invención, el “*Método del carbonato de plata*”, pudo observar un “tercer elemento” que en realidad resultó que eran dos tipos diferentes de células. Una a la que denominó microglía, y otra de la que sólo

se teñía el núcleo, la oligodendroglía. Ambas se tiñeron en color negro o pardo oscuro (111).

Como se ha podido observar, existió un gran paralelismo en la composición de los productos y reactivos, así como en el uso de los métodos, entre las técnicas neurohistológicas y las técnicas fotográficas, que en aquel momento se estaban produciendo o eran de reciente creación. Si unas técnicas inspiraron a las otras o viceversa es algo sin respuesta, pero parece que existió algo más que simple coincidencia en ello, dado la importante labor que Cajal desarrolló en el campo de la fotografía, cuyos conocimientos técnicos quedaron recogidos en su obra de 1912 *“La fotografía de los colores. Fundamentos científicos y reglas prácticas”* (44). En su autobiografía *“Recuerdos de mi vida”* (7), se refiere a los motivos que inspiraron esta obra. Uno de ellos fue su deseo de dar a conocer entre los aficionados, con lenguaje sencillo, los principios de la fotografía y en particular los de la fotografía en color, que había empezado a utilizarse desde principios del siglo XX. En 1918 Cajal aplicó la fotografía estereoscópica a microfotografías del tejido nervioso, y mucho antes, hacia 1880, Cajal logró hacerse un autorretrato de tan sólo 1,5 mm de lado, utilizando como placa fotográfica un portaobjetos recubierto con una emulsión de gelatina-bromuro que, al ser colocado en la platina del microscopio, permitía observar su cara con todo detalle. Se puede decir que Cajal inventó de esta forma el microfilm (112).

Además de las técnicas de impregnación metálica anteriormente comentadas, Cajal utilizó diferentes métodos de tinción o impregnación, que son de uso general en Histología, y en ocasiones se utiliza combinación de ellas. De estas destacan:

a) La *“Técnica de Nissl”* (113) para teñir, de rojo con rojo magenta o de azul con azul de metileno, inclusiones cromatófilas del citoplasma celular, que hoy sabemos que corresponden al retículo endoplásmico de la neurona.

b) La *“Hematoxilina de Haidenhain”* (114), que permite teñir de violeta los centrosomas, además del núcleo celular.

c) La *“Técnica de Azoulay”* (115), para la coloración negra con ácido tánico, en presencia de ácido ósmico, de la mielina, sobre fondo gris pálido (*“desarrollo casi fotográfico del ácido ósmico por el tanino”*).

d) El *“Método de Ehrlich”* (116), con azul de metileno, que colorea de azul de modo intenso y selectivo las prolongaciones celulares, de manera similar a las técnicas de cromato de plata.

De modo general las técnicas de impregnación metálica y en particular las de impregnación argéntica, dan como resultado la producción de un precipitado rojo ladrillo de bicromato de plata, o negro, o pardo casi opaco, también de nitrato de plata, que se deposita sobre ciertos elementos o determinadas fibras, sobre fondo no teñido, totalmente transparente, de modo que, como de ordinario los corpúsculos impregnados son pocos, se produce una imagen semejante a un dibujo de tinta china sobre papel japonés.

Concluimos esta sección de nuestra tesis doctoral con una copia de una de las cartas que Cajal dirigió a Ferrán i Pauli (93), en la que hace referencia a algunas de sus primeras experiencias con la fotografía científica al microscopio, el año 1884 en Valencia. Se puede apreciar en este escrito la meticulosidad y la gran sensibilidad de Cajal hacia contornos, luz, contraste e imagen.

Valencia 8 de julio de 1884

Amigo Ferran:

[...] en la actualidad hago todavía experiencias sobre este particular, con ánimo de obtener fotografías. Por de pronto se me figura que existe un procedimiento muy expeditivo para obtenerlas cuando se trata de los glóbulos de la sangre y los bacillus; éste es conservar la sangre por desecación, por el proceder que podrá ver V. en Mauvier, con el cuál se conserva la forma de los glóbulos de un modo perfecto lo mismo que los bacillus. La fotografía de estas preparaciones da muy buen resultado 1º por la inmovilidad de los elementos, 2º porque están dispuestos en una sola una capa, 3º por la claridad y vigor del contorno, 4º porque no hace falta cubrir objetos y el objetivo puede aproximarse todo lo que se quiera. En estas condiciones he obtenido yo preparaciones hermosas y admirables fotografías, y aunque el procedimiento parezca un poco brutal, con algo de habilidad, se obtienen fotografías de la sangre, superiores a todo lo que se conoce.

Por lo demás yo gasto exclusivamente el gelatinato de bromuro y laca artificial. Experiencias mil me acreditan que la luz solar es detectable por la dureza del contorno que suministra luz a las células y por los círculos de difracción que determina; la luz de nube o de cielo es pésima por la ausencia de contraste y la falta de contorno riguroso de los elementos, los que apenas se diseñan sobre un fondo igualmente luminoso; en tanto que la luz artificial da limpieza a los contornos sin exagerarlos demasiadamente y sin producir círculos de difracción. Los objetivos Nachet son buenos y con especialidad el 5 y 6 con los cuales he obtenido tan buenas pruebas como con el Verick, y que es el que me ha servido a mi con los mejores éxitos. La disposición que adopto es la siguiente, ver figura página siguiente (Fig. 78): Luz de petróleo con un reflector poderoso a fin de enviar la luz sobre el espejo concavo [sic] del microscopio; un tubo de tela negra que enlaza el tubo del instrumento y el agujero de la cámara, con objeto de que, siendo ambas cosas, cámara y microscopio, independientes, no se enfoque la preparación en el momento de poner y quitar la placa; exposición con placas rápidas de 15 a 20 minutos con los aumentos 7 de Verick y con preparaciones delgadas e incolores; un sistema de diafragmas interiores a la cámara para ejecutar 4 fotografías sobre una sola placa, revelación fuerte al oxalato, con refuerzo al bicloruro si lo necesita, tales son las principales condiciones que empleo en la obtención de fotografías microscópicas.

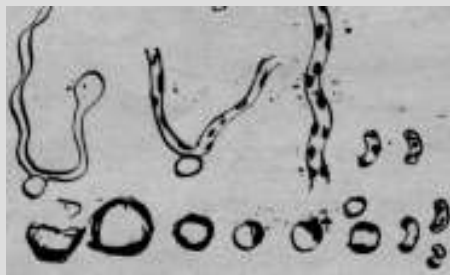


Fig. 78. Fotografía a la que se hace referencia en esta carta de Cajal.

Añadamos a esto que solamente pueden fotografiarse cortes delgadísimos e incolores y si las preparaciones están conservadas en la glicerina y se aplica un objetivo de gran potencia es previa una delgadez extrema del cubre objeto para que no se disloque la preparación con los contactos del objetivo, ni se desenfoque el preparado por la reacción elástica del cubre objetos y de la preparación.

Dentro de pocos días pasaré por esa y tendré el gusto de abrazarle y hablar sobre estos asuntos...

Santiago Ramon Cajal

Plaza de Comedias, nº 16 2º piso, Valencia

* Carta y fotografía del trabajo de Tió y Sauleda (2007) (94).

RESULTADOS

Este apartado consta, principalmente, de una selección de dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal, pertenecientes a sus investigaciones sobre el sistema nervioso. La selección ha sido llevada a cabo según los criterios que se indican en la sección “Material y métodos” de esta tesis.

1. Dibujos predecesores de la teoría neuronal

En este apartado se incluyen, junto a dibujos de Cajal, algunos dibujos realizados por diferentes investigadores anteriores a Cajal y coetáneos, los cuales son útiles como medio de comparación y referencia respecto de los que realizó nuestro premio Nobel, no sólo por su contenido científico, sino por su concepción estética en lo referente a estructura y forma de lo representado. Nótese que en la mayoría de los originales de estos dibujos, los cuales, en su forma original publicada, se encuentran asociados a texto, se incluyen letras como parte del lenguaje y de la relación entre dibujo y palabra escrita. Dependiendo de la técnica histológica utilizada, los colores son el negro y diferentes tonos de gris, el rojo ladrillo, el violeta, el rosa o el azul. Se trata de formas generalmente geométricas (triangulares, circulares o rectangulares), cuyo contorno varía desde recto y uniforme a curvo o irregular.

1. 1. Individualidad de la neurona. Pies terminales.

El primer descubrimiento de Cajal fue que las prolongaciones de las células nerviosas terminaban libremente, sin formar un retículo tridimensional, constituyendo unidades anatómicas y funcionales contiguas pero no continuas. Cajal descubrió que las prolongaciones celulares acababan en unos ensanchamientos denominados pies terminales o botones terminales, que servían como estructura de relación entre las células.

Fig. 79a. La figura publicada por Held en 1897 (117), describe fibras terminales en forma de cáliz. Se trata de un dibujo que muestra dos estructuras dispuestas en el centro de la imagen sobre un fondo de color gris verdoso. A la derecha se representa una estructura rectangular, en cuyo interior se distingue un moteado uniforme, de color azul. Esta estructura se abre en varias ramificaciones, que forman a modo de un cáliz sobre la parte izquierda de la segunda estructura, que es oval y contiene una forma circular de color rojo, alrededor de la cual aparecen manchas del mismo color que las del moteado de la primera estructura, pero de forma y tamaño variables.

Fig. 79b. En esta figura realizada por Auerbach en 1898 (118), se nos presenta una estructura excéntrica, de forma aproximadamente circular, de color gris, que contiene otra forma circular clara central, provista de dos puntos negros de diferente tamaño. Alrededor de ella aparecen una serie de manchas realizadas como punteados oscuros. De esta estructura surgen tres ramificaciones de contenido finamente punteado. Todo el contorno de la figura aparece delimitado por pequeñas manchas negras ensanchadas, de las que surge una pequeña

prolongación a modo de línea estrecha y muy delgada. A estas pequeñísimas formas se las denominó botones o pies terminales.

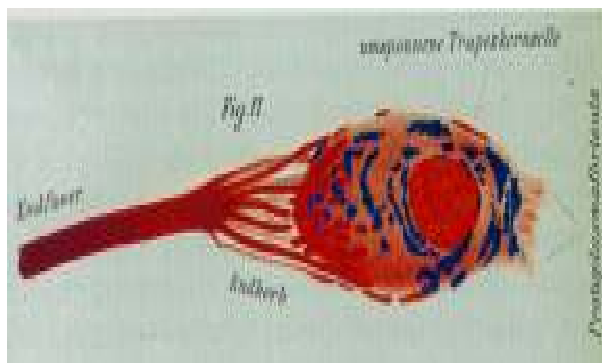


Fig. 79a



Fig. 79b

1. 2. Morfología neuronal. Las espinas dendríticas

Hasta el uso del método de Golgi en 1873 (15), lo que se sabía sobre la morfología neuronal, en concreto de las células piramidales, era que poseían una prominente dendrita dirigida hacia la superficie cortical, con algunas ramificaciones, y varias dendritas cortas, sin ramificar, desde la base del cuerpo celular, así como un axón que descendía hasta la sustancia blanca sin ramificarse. Se consideraba que la superficie de la neurona y en particular la de las dendritas era lisa. Sin embargo, Cajal describió y dio nombre a unas formaciones de la superficie de las dendritas, las “espinas dendríticas” (27, P5). Algunos autores confundieron los pies terminales con las espinas dendríticas.

Fig. 80a. Dibujo realizado por Bastian en 1880 (119), en el que se observa una estructura triangular de color gris contorneada por una línea negra continua (a). Presenta una prolongación ancha en disposición superior, desde la que surgen prolongaciones que se adelgazan al alejarse de la misma. En su interior aparece un fino punteado y una pequeña forma redondeada. Desde la base surge una prolongación delgada de contenido claro (b) que forma un asa (c).

Fig. 80b. Dibujo realizado por Golgi en 1886 (102, P5), en el que se observa una pequeña estructura triangular, abombada, de color negro, de la que surgen prolongaciones con numerosas ramificaciones. Desde la cara basal del triángulo surge una fina prolongación de recorrido sinuoso (a).

Fig. 80c. Dibujo realizado por Cajal en 1904 (102, P5), de una neurona impregnada con el método de Golgi, que muestra la estructura típica de una célula piramidal. Lo importante de esta figura es la representación de numerosas formaciones a modo de espinas que se observan en la superficie de todas las dendritas tanto basales (d) como en el tallo radial de la parte superior del dibujo, o en el penacho superior (e). La prolongación dirigida hacia la base, que representa al axón (a), está desprovista de espinas. Posee ramificaciones colaterales (c).

Fig. 80d. Dibujo realizado por Held en 1897 (117) en el que muestra dos estructuras de forma rectangular, alargada, de contorno irregular, de color rojo

ladrillo con moteado negro (a y b), sobre cuya superficie aparecen numerosas manchas del mismo color (X) que corresponden a pies terminales y que este autor confundió con las espinas dendríticas de Cajal (102).

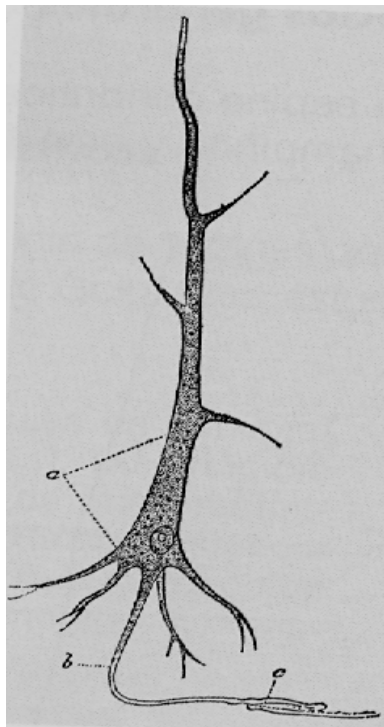


Fig. 80a

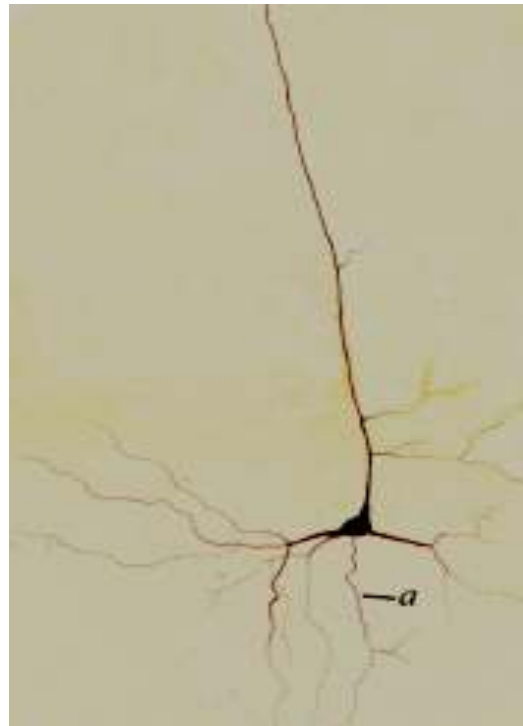


Fig. 80b

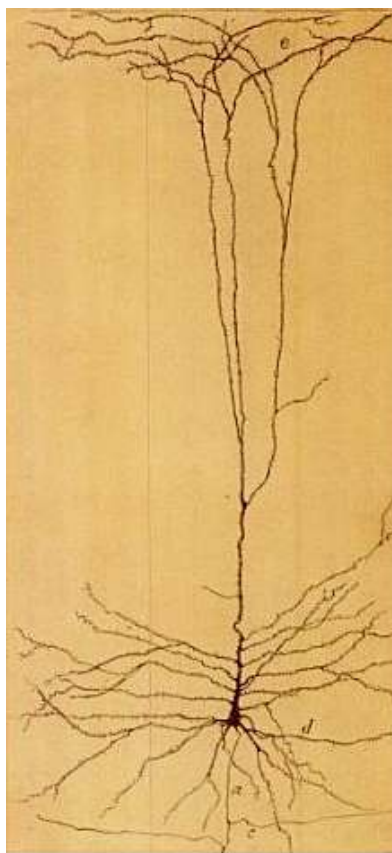


Fig. 80c



Fig. 80d

Fig. 80e. Dibujo realizado por Deiters (1865). Células ganglionares aisladas de médula espinal. En B aparece un detalle de la célula de la izquierda de A (102, 107).

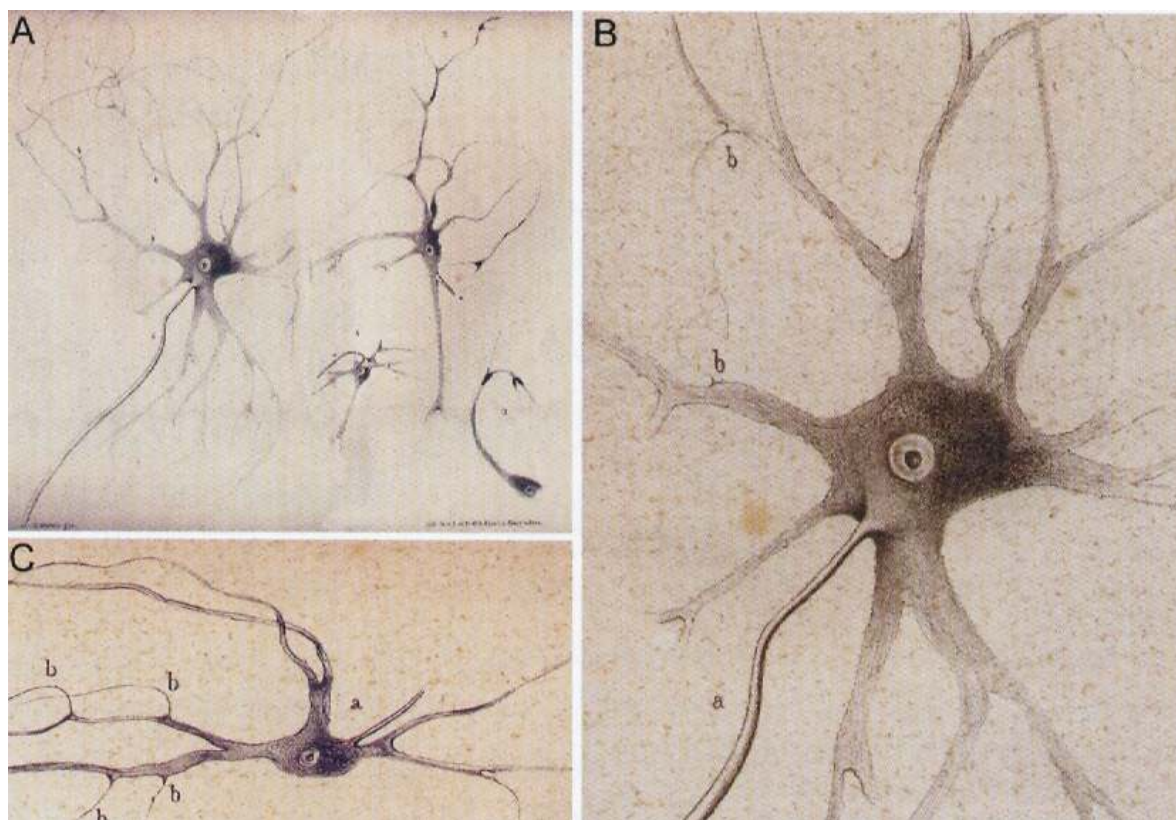


Fig. 80e

Fig. 80f. Primera ilustración de Golgi de una preparación histológica teñida con el método de Golgi (15, 102, P5).

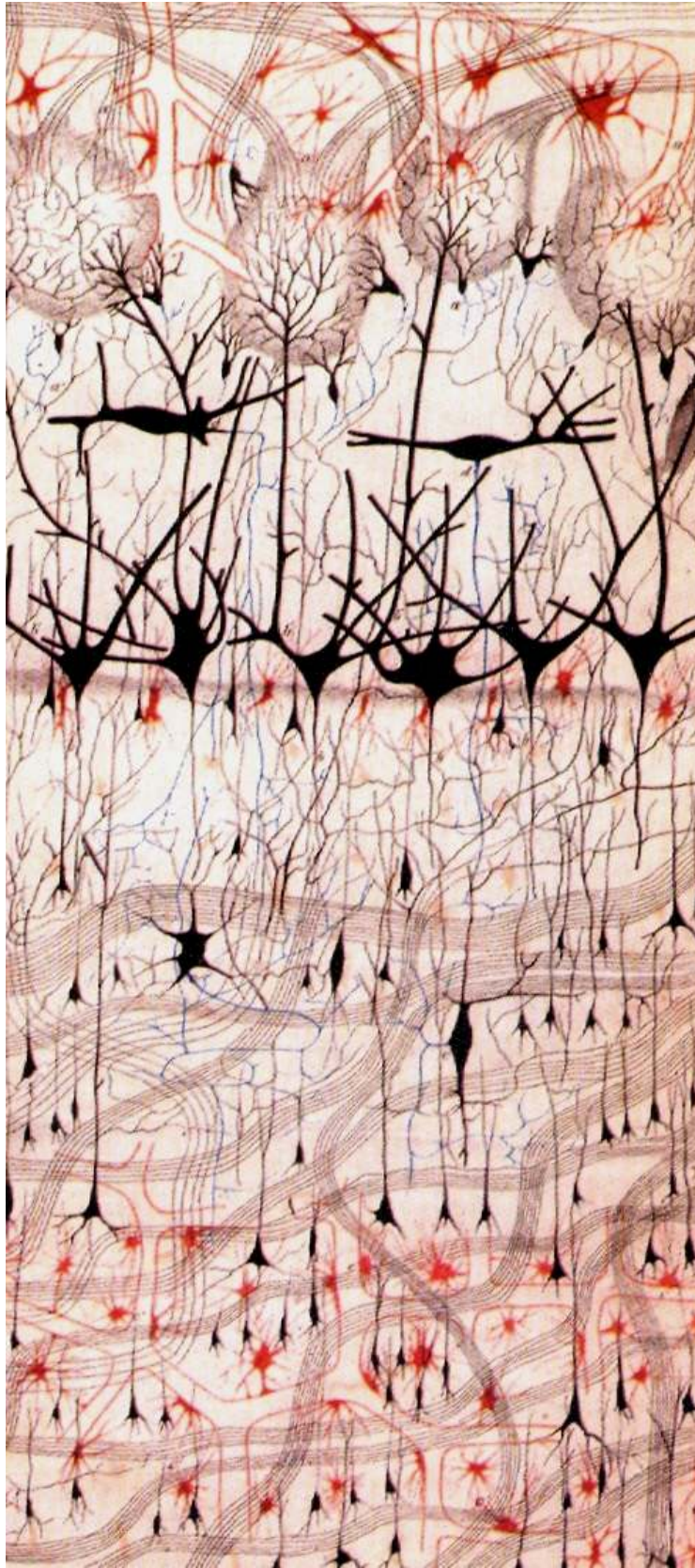


Fig. 80f

Fig. 80g. Células piramidales de la corteza cerebral según Butzke (1872) (2).

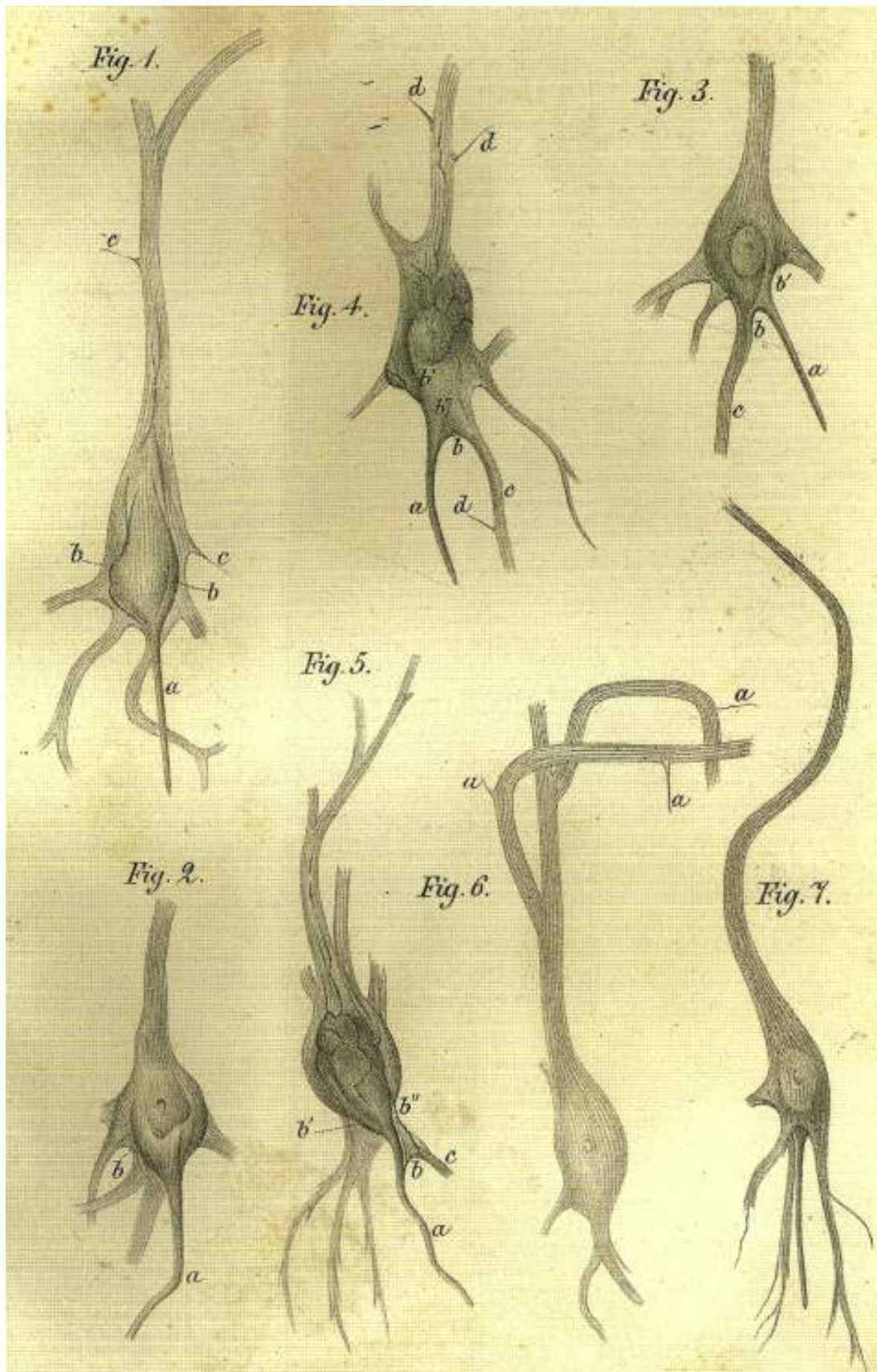


Fig. 80g

Fig. 80h. Neuronas de la corteza cerebral del conejo. Dibujo realizado por Golgi (1882) (2, 15, 102, P5).



Fig. 80h

Fig. 80i. Dibujo de sección de cerebro humano realizado por Denissenko (1877) (2, 102).

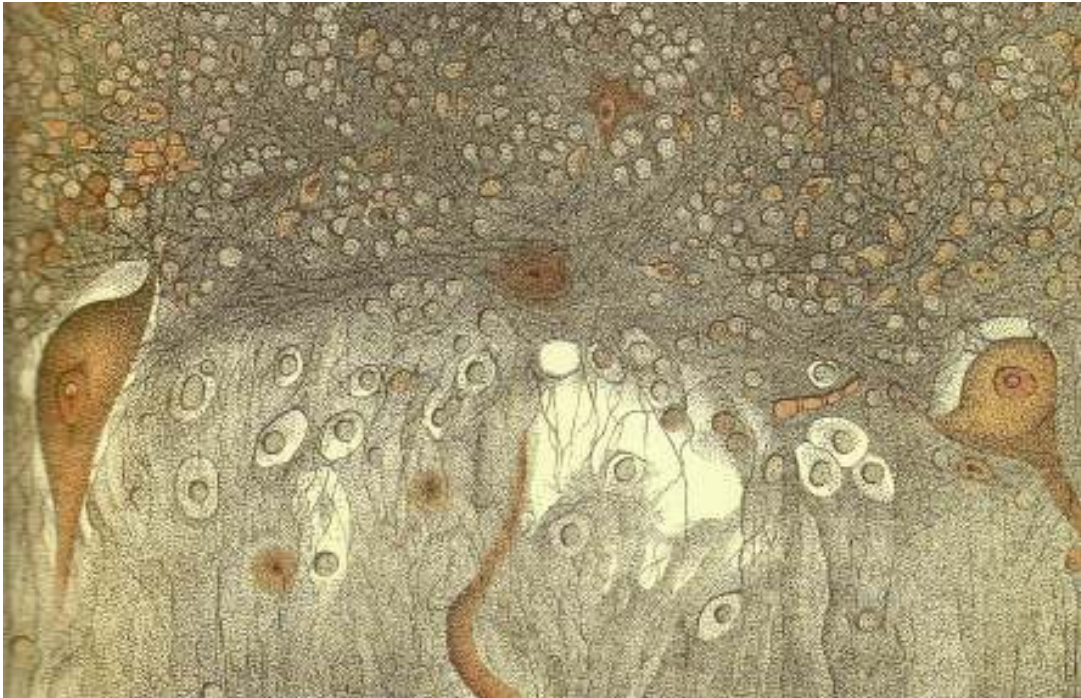


Fig. 80i

Fig. 80j. Dos células ganglionares de la retina humana. Dibujo de Dogiel (1893) (102).

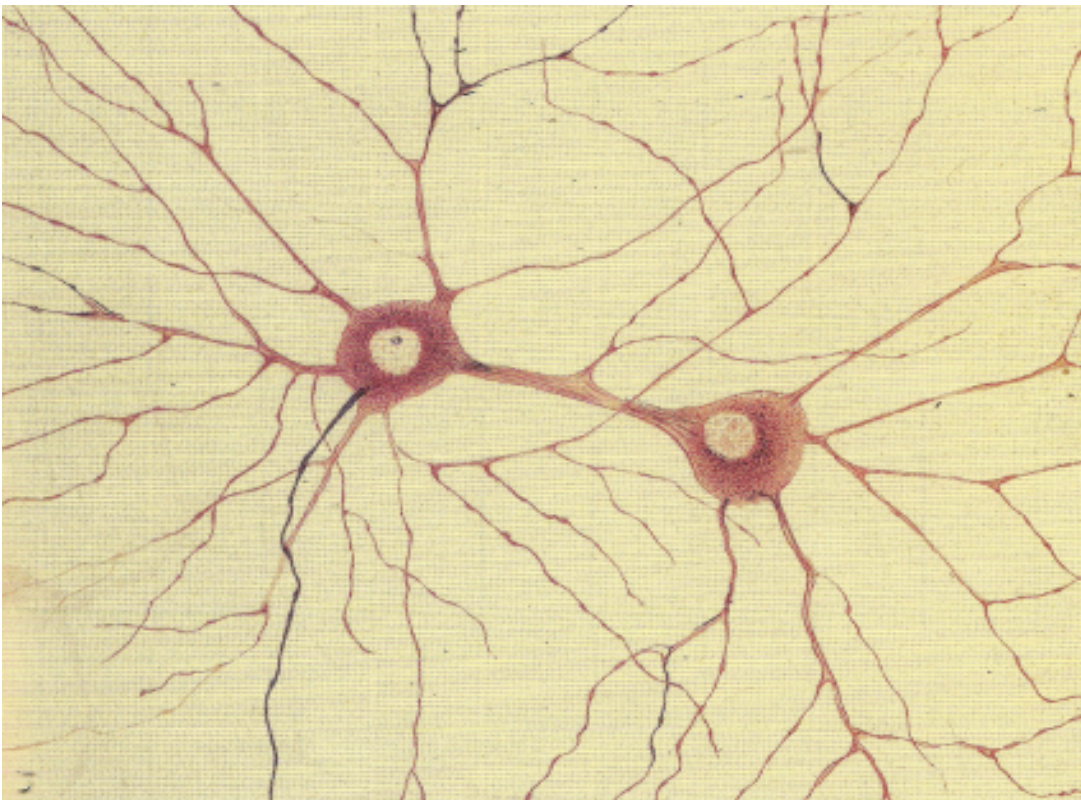


Fig. 80j

1. 3. Las interpretaciones de lo observado

La imprecisión e inconstancia de muchas de las técnicas previas a las de Cajal, dieron como resultado interpretaciones erróneas, sólo posibles en presencia de imágenes creadas por métodos insuficientes. “Cuando ante nuestros ojos aparecen, de modo claro y determinante, detalles de la morfología o estructura buscadas, la hipótesis pierde sus prestigios, y cesa el espejismo extraño que nos hace ver, exteriorizada en la preparación microscópica, nuestra concepción *a priori*. Como se indica, en los estudios micrográficos sobre todo, es donde más particularmente se aplica este principio. La fuerza sugestiva de las hipótesis reinantes sobre una cuestión dada, es inversamente proporcional a la perfección analítica de los métodos de estudio” (3).

2. Morfología externa de la célula nerviosa

Atendiendo a la morfología de las estructuras dibujadas (neuronas), estas pueden ser fusiformes, estrelladas, piriformes, triangulares, poligonales, etc., y, atendiendo al número de las prolongaciones que surgen de dichas estructuras, es posible distinguir diferentes morfologías: formas con prolongaciones cortas o largas, con una sola expansión larga, con numerosas expansiones de forma arborescente, estructuras de forma bipolar (con una expansión dendrítica en una dirección y otra axónica en la opuesta), con varias expansiones dendríticas y una axónica, con la expansión axónica corta o larga, etc. (102, 120).

Fig. 81a. Grupo de elementos teñidos de color azul provistos de expansiones de diferente grosor y disposición. Atendiendo a la forma del cuerpo celular, se observan dos tipos de morfología celular: célula fusiforme (a) y célula estrellada (b). Método combinado de Ehrlich-Bethe (116, 120).

Fig. 81b. Grupo de estructuras redondeadas teñidas de negro (A y B), de las que parte una larga prolongación que se subdivide y ramifica en su extremo. Algunas de ellas presentan una expansión lateral (a). Se trata de neuronas monopolares impregnadas por el Método de Golgi. (6, 102).

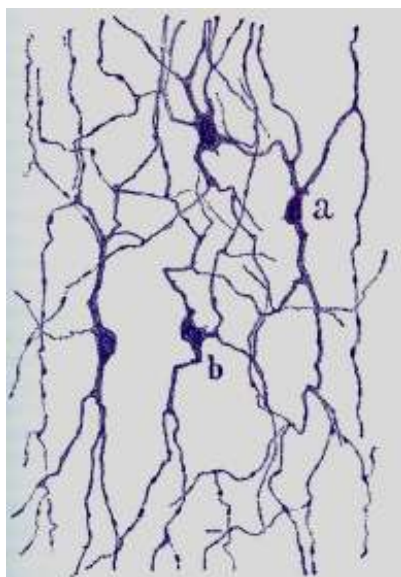


Fig. 81a



Fig. 81b

Fig. 81c. Alineación de estructuras ovales de color negro, con un óvalo central claro (n), provistas de dos prolongaciones, una dirigida hacia arriba, más gruesa (b), terminada en un penacho de formaciones filamentosas (c), y otra más delgada dirigida en dirección opuesta (a), que se reúnen (d). Se trata de células bipolares de la mucosa olfatoria. (6, 102, 120).

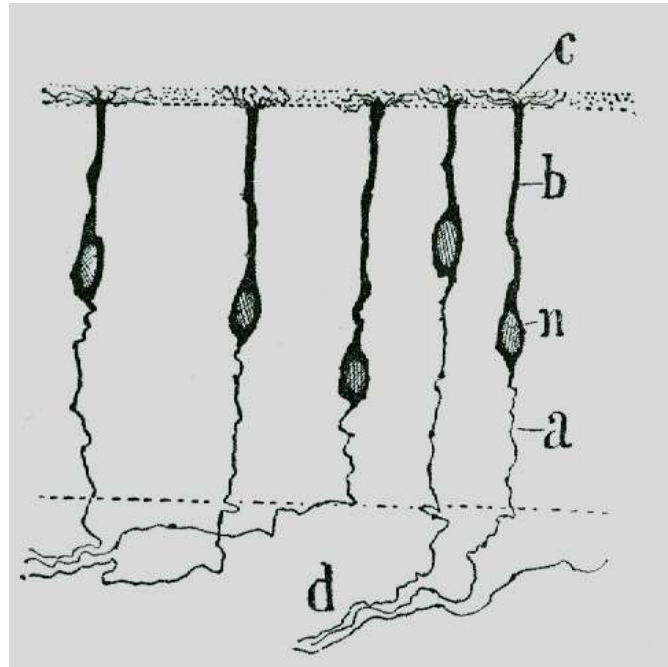


Fig. 81c

Fig. 81d. Estructura redondeada de color negro de la que surgen numerosas expansiones fuertemente ramificadas con forma arborescente, y una expansión fina dirigida en sentido opuesto, de la que surge otra colateral. Corresponde a una célula de Purkinje (126) del cerebelo humano, teñida con el método de Golgi (15, 102, P5)

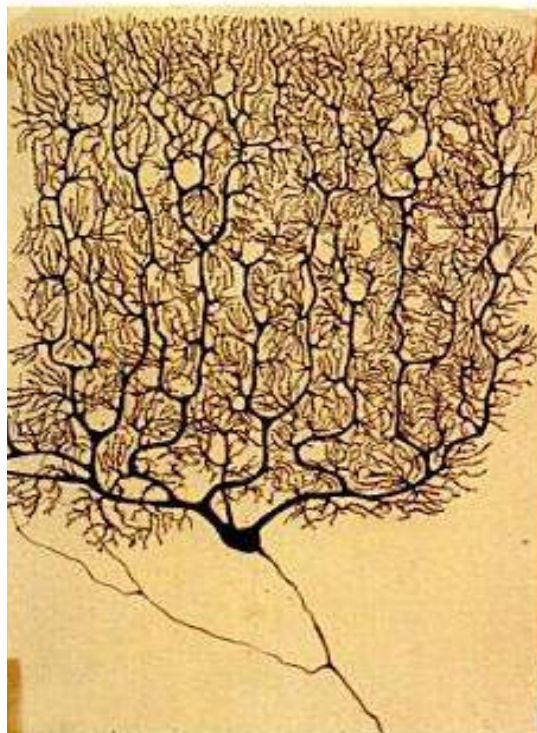


Fig. 81d

Fig. 81e. Dibujo realizado por Ramón y Cajal en 1904 (102), mostrando dos estructuras provistas de un círculo claro central, una de ellas con una mancha circular oscura. De cada una de ellas parte una prolongación gruesa (a) y numerosas prolongaciones delgadas (d). Todas ellas están provistas de pequeños salientes a modo de espinas, excepto una prolongación delgada de superficie lisa (c). Junto a ellas aparece un detalle de una de las expansiones con salientes en forma de espina (b).

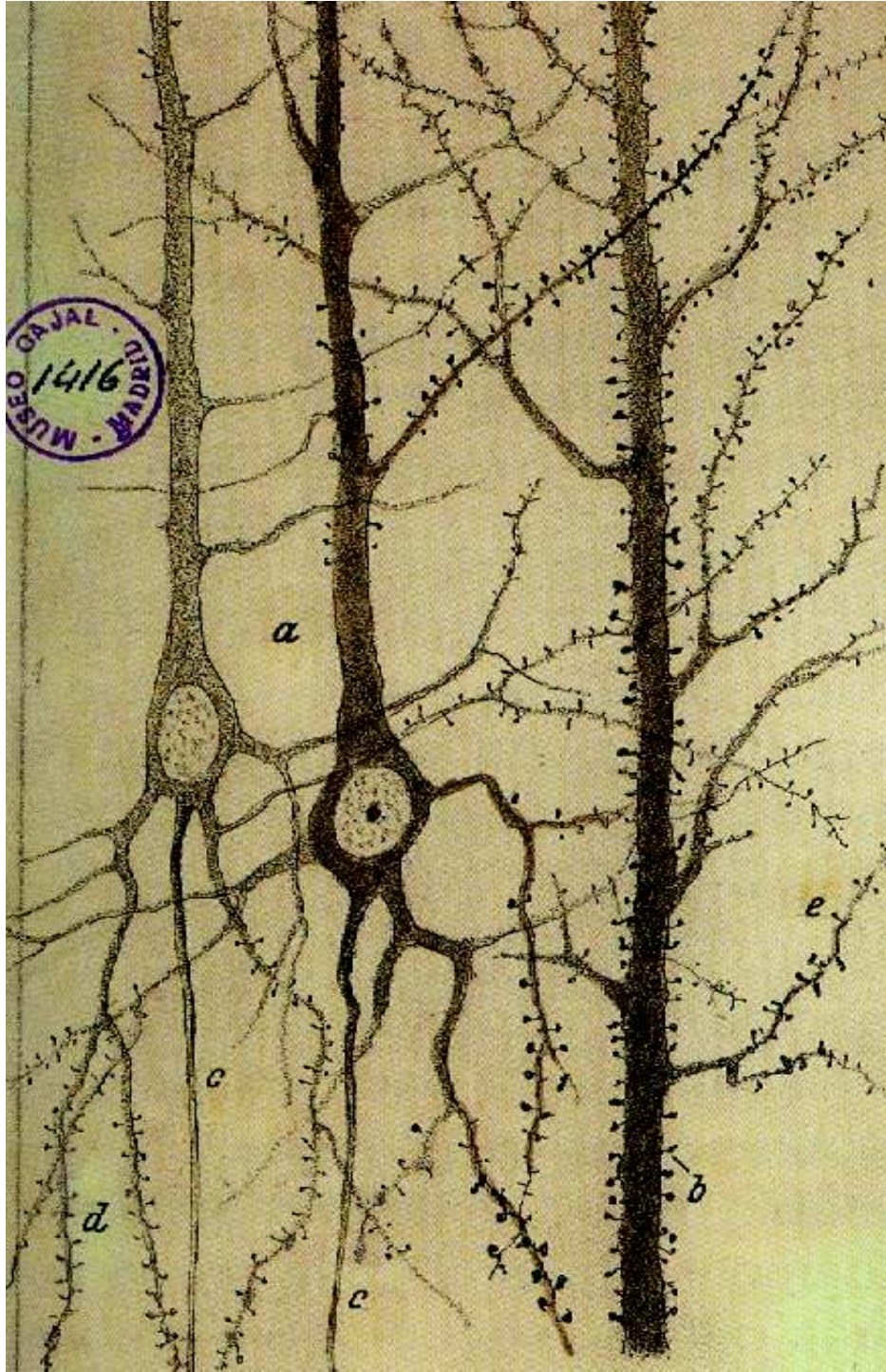


Fig. 81e

Fig. 81f. Forma aproximadamente triangular que contiene una mancha grande de forma ovalada y de color gris, sobre fondo gris claro, de la que surge una prolongación sinuosa (a) que termina saliendo de la forma triangular (d). Se trata de una célula de un ganglio espinal provista de un axón largo (102, 120). En la imagen destaca el sello del museo Cajal y una inscripción hecha a mano por el autor.



Fig. 81f

3. Estructura interna de la célula nerviosa

Las diferentes técnicas aplicadas al tejido nervioso dieron información sobre varios de los componentes del interior de la célula (121). Por supuesto, lo más evidente era el núcleo celular, que habitualmente aparecía poco teñido y con un cuerpo muy oscuro (el nucléolo) de disposición central o excéntrica característica, que ha supuesto la creación del nombre “Núcleo en ojo de perdiz”, así como otras estructuras tales como un bastoncillo intranuclear. La aplicación de la técnica de Golgi (15), y de variantes de la misma, ideadas por Cajal (122), permitieron observar el “Aparato reticular interno” (“Aparato de Golgi”) que aparece como una red perinuclear densamente teñida de negro o de color muy oscuro, y el retículo endoplasmático (123).

Fig. 82a. Células piramidales de cerebro de conejo mostrando el núcleo esférico provisto de un nucléolo y un bastoncillo intranuclear (C). Alrededor del núcleo se muestra el aparato reticular interno (102).

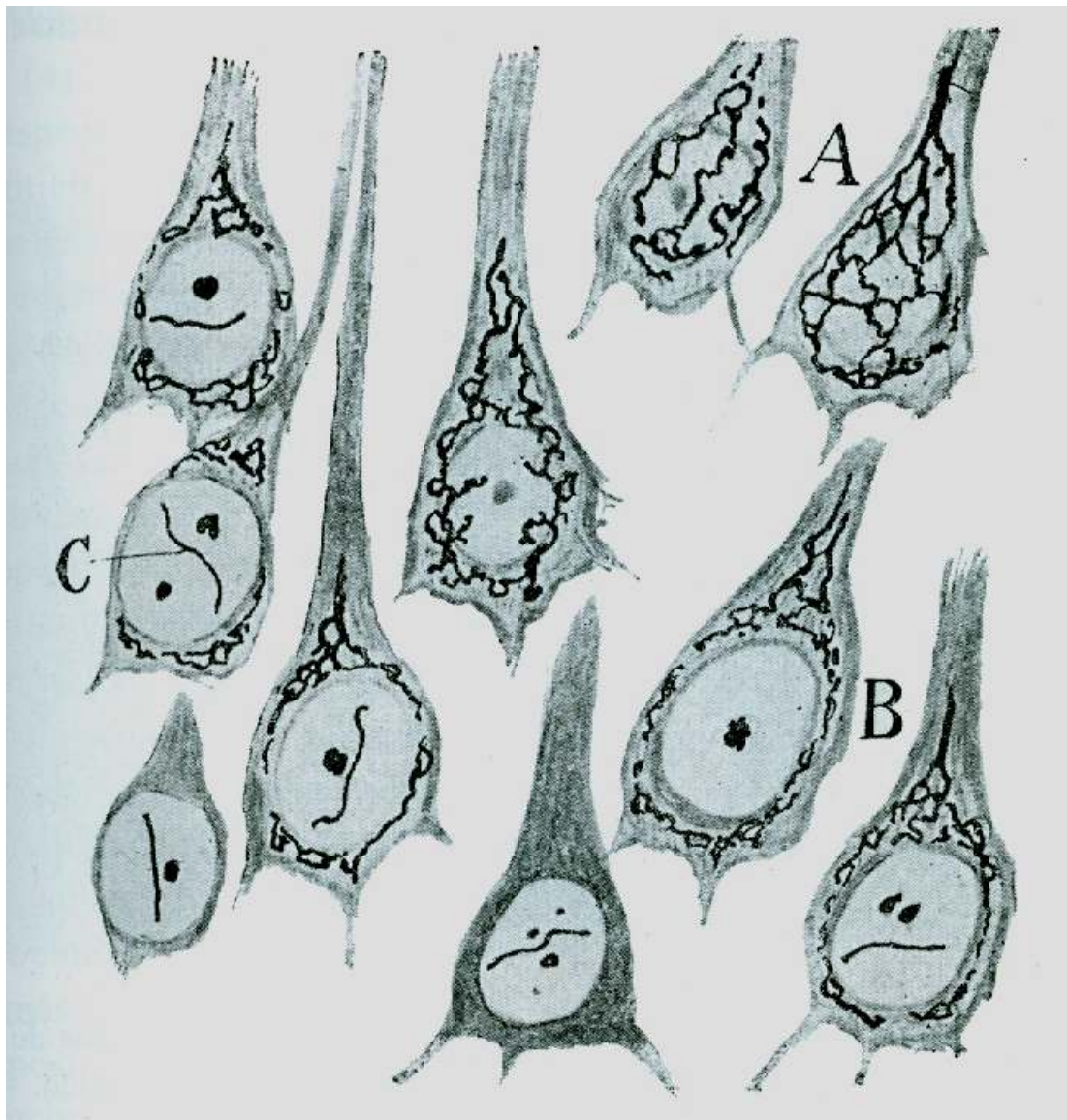


Fig. 82a

Fig. 82b. Célula motriz de la médula espinal de conejo mostrando los grumos de Nissl (108), teñidos con la tionina (b, c, e), asusentes en el axón (a) (102).

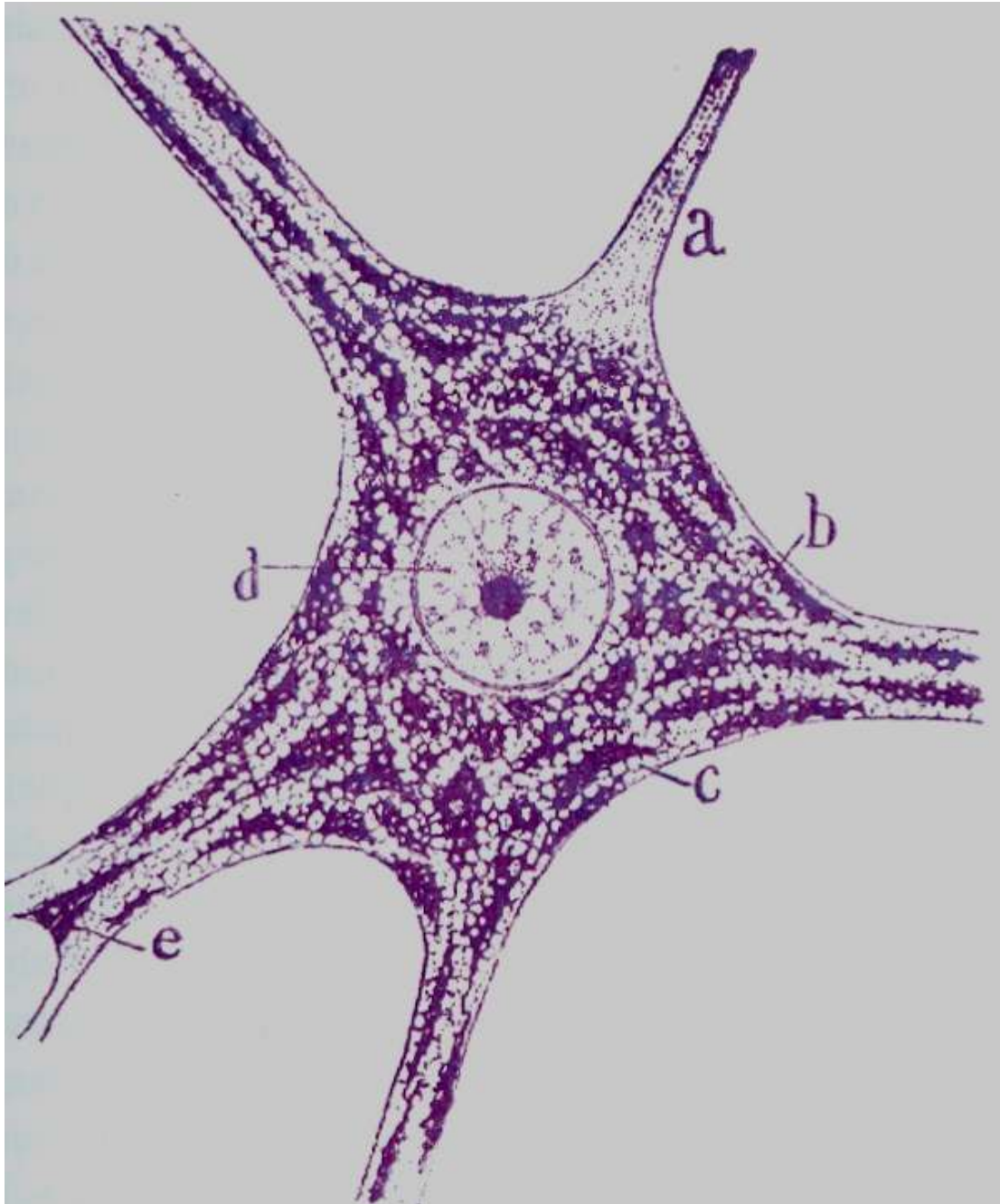


Fig. 82b

Fig. 82c. Células piramidales del cerebro humano que muestra la red de neurofibrillas citoplásmicas (h) ocupando el citoplasma, teñidas con la técnica del nitrato de plata reducido de Cajal (102, 105, 122).

Fig. 82d. Detalle de las neurofibrillas citoplásmicas teñidas con la técnica del nitrato de plata reducido de Cajal (6, 103).

Fig. 82e. Detalle del núcleo de la neurona mostrando las “Esférulas” (grumos de cromatina), el “Cuerpo accesorio de Cajal” y los denominados “núcleolos secundarios” (6, 103).

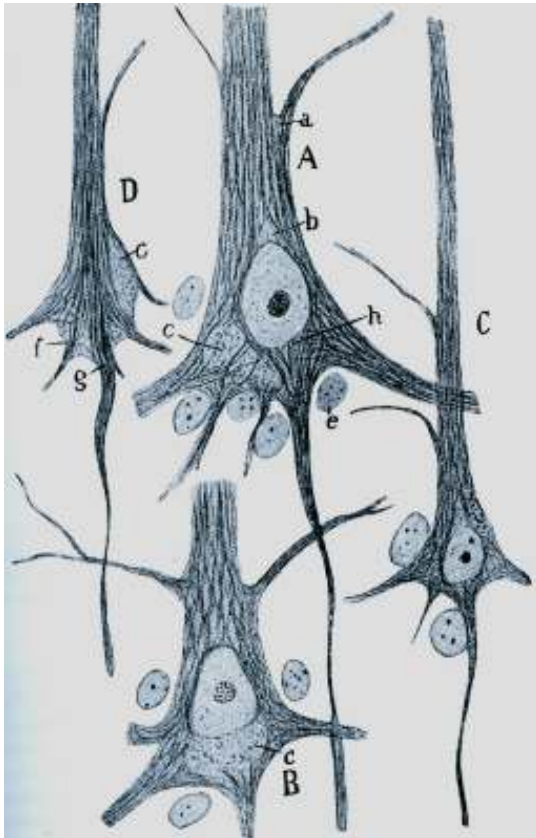


Fig. 82c

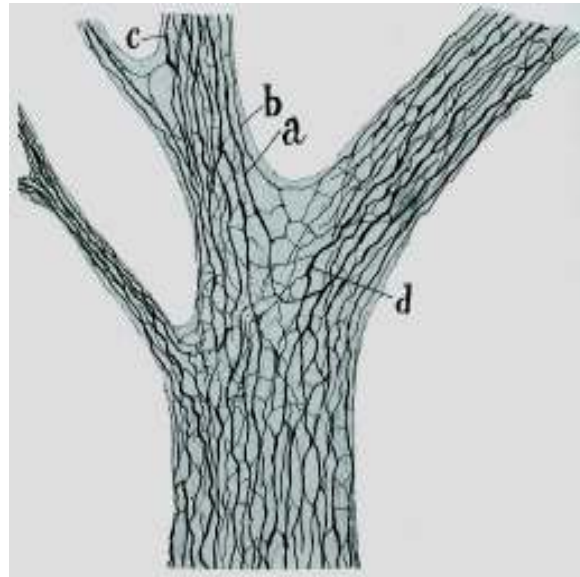


Fig. 82d

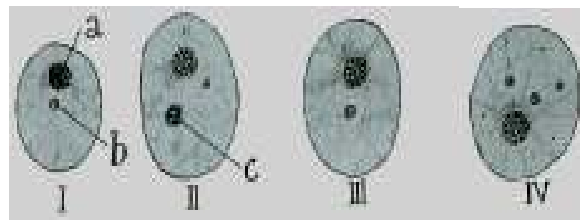


Fig. 82e

Fig. 82f. Detalles de los componentes del núcleo de la neurona (P70).

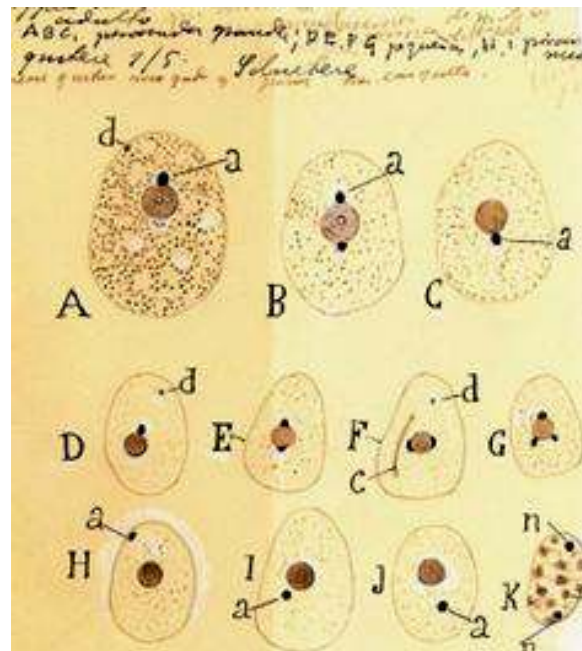


Fig. 82f

Fig. 82g. Aparato reticular interno (Aparato de Golgi) de la neurona (P71).

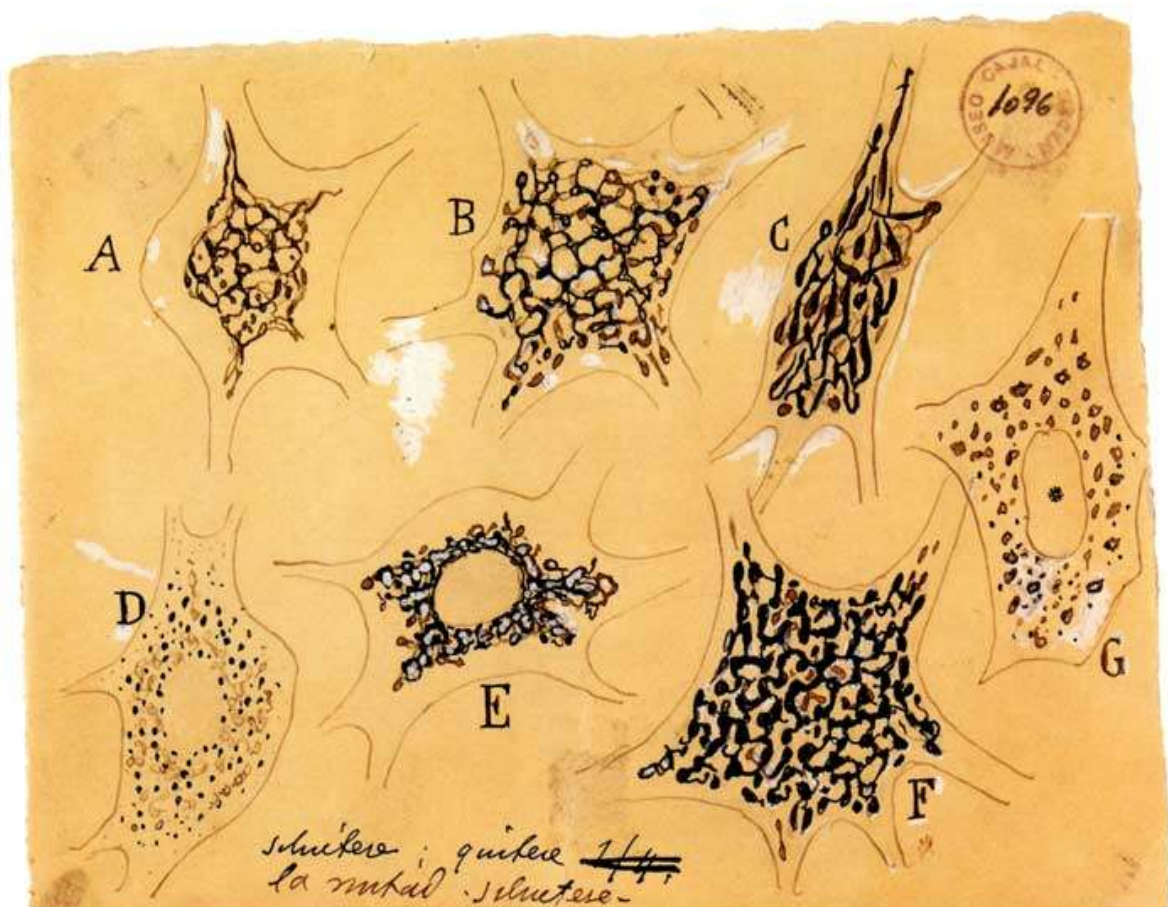


Fig. 82g

4. Implicaciones de los estudios funcionales en la iconografía

Las imágenes presentadas hasta el momento corresponden a dibujos provistos de letras, las cuales tienen una función explicativa de la estructura, con desarrollo en el texto (pie de figura). En los estudios sobre la funcionalidad de la neurona, aparece un nuevo elemento iconográfico en las imágenes, se trata de la “flecha” Este nuevo elemento sirve para indicar el sentido en el que se desplaza la corriente nerviosa en la neurona o en la asociación entre varias de ellas. Los estudios de Cajal dieron lugar a la teoría de la “Polarización dinámica de la célula nerviosa”, según la cual la corriente nerviosa entra en la neurona por las dendritas, recorre el cuerpo (soma de la neurona) y sale por el axón. Todas las flechas incluidas en un mismo dibujo presentan una morfología iconográfica idéntica y tratan de representar el sentido del movimiento de la corriente nerviosa.

A continuación se muestran dibujos realizados por Cajal, provistos de iconos tales como letras mayúsculas y/o minúsculas, números y flechas.

Fig. 83a. Dibujo provisto de los dos tipos de letras y de flechas, representativo de células receptoras del bulbo olfatorio (A), en el que las flechas indican la dirección del movimiento, en dirección hacia las células piramidales de la corteza cerebral (F). Entre ellas, se encuentran dos tipos de neuronas intermedias, las células de los granos (D) y las células mitrales (C). Los axones de estas constituyen la raíz externa del nervio olfatorio (E) (102).

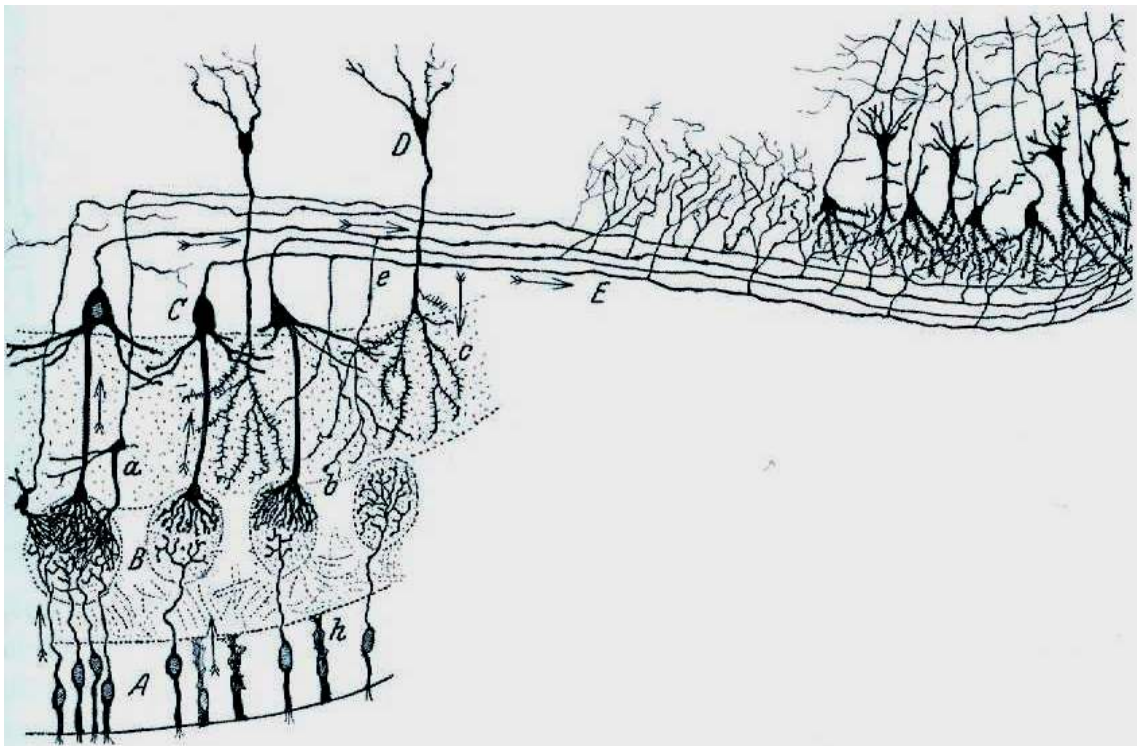


Fig. 83a

Fig. 83b. Dibujo en el que se representa una sección vertical del lóbulo óptico de camaleón, teñido con el método de Golgi (15). En él se indican con números las 14 capas de células (en sentido interior-exterior, y los distintos tipos celulares con letras mayúsculas (102).

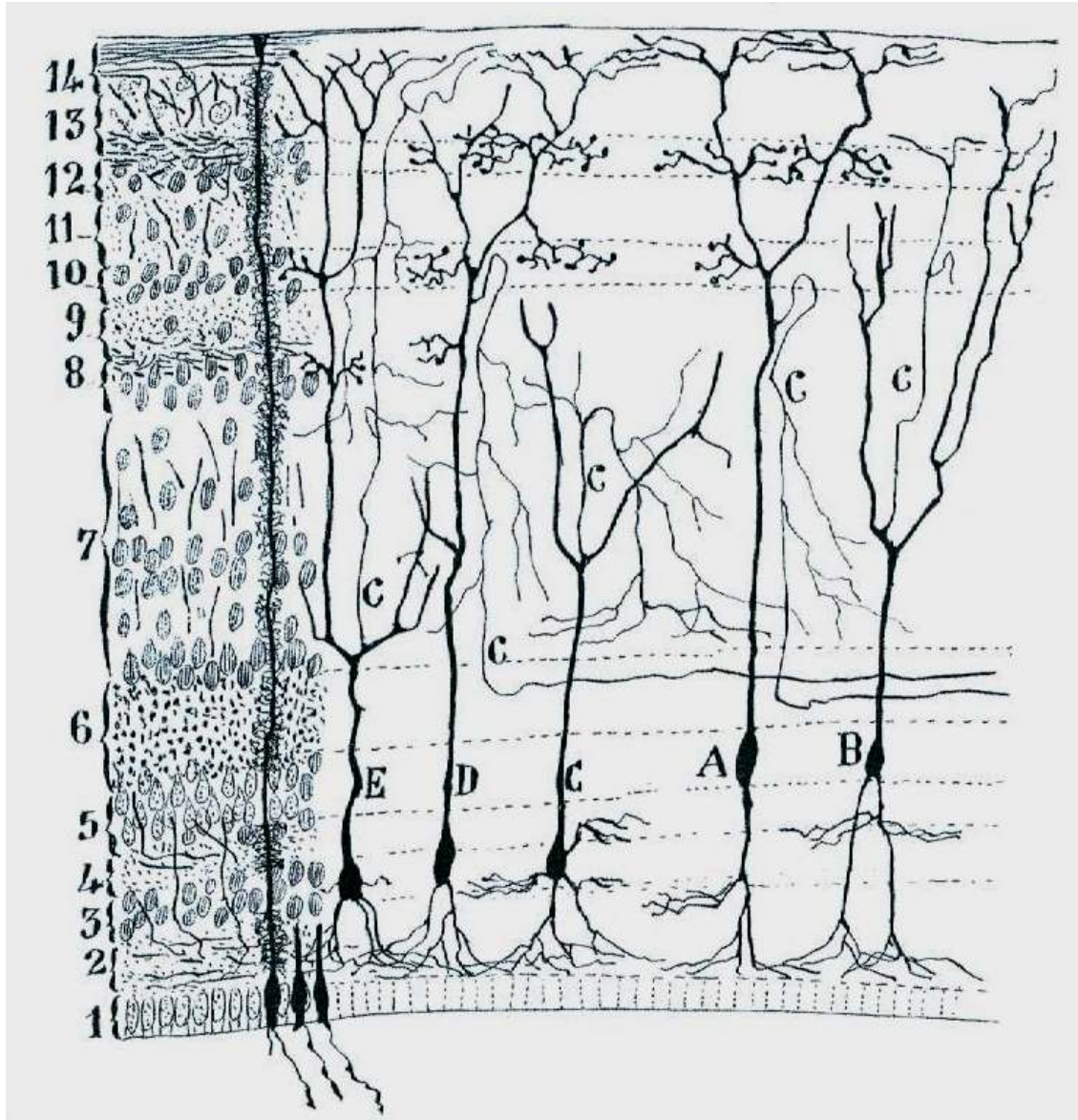


Fig. 83b

Fig. 83c. Dibujo provisto de letras mayúsculas y de flechas, que representa el movimiento de las corrientes nerviosas en una célula ganglionar sensitiva de mamífero (102).

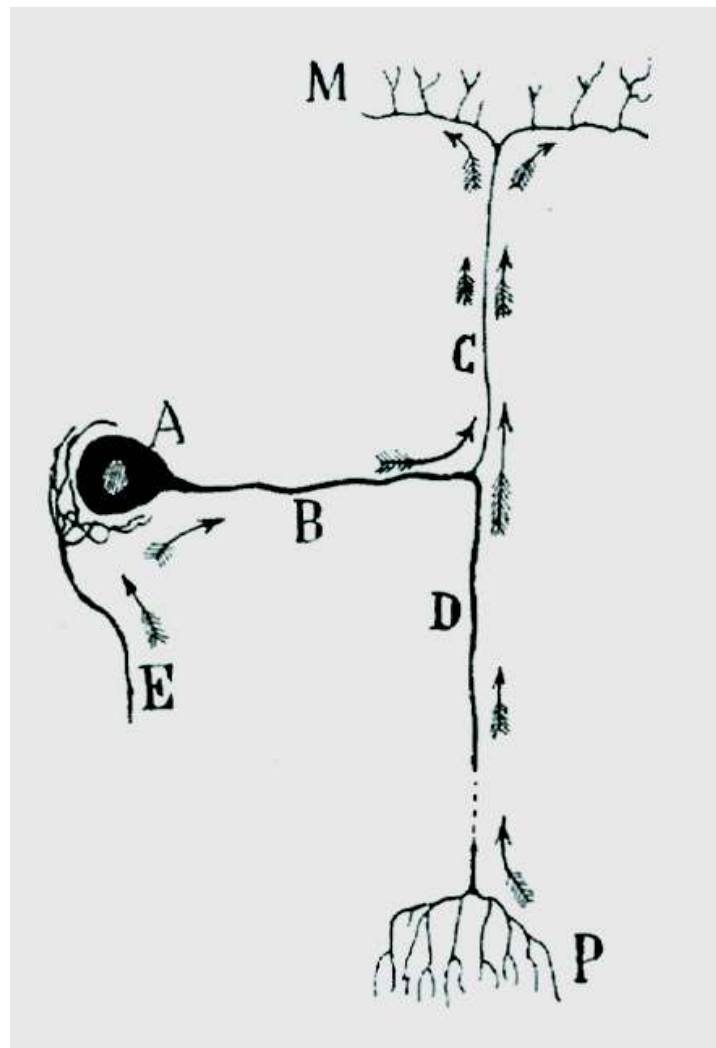


Fig. 83c

5. La neuroglía

Este segundo tipo de estructura (célula), diferente de la neurona, supone varios subtipos celulares que muestran morfología característica dependiendo de su localización y funciones. Su descubrimiento y estudio supuso la creación de técnicas de estudio específicas (124, 125). Estas células forman, en el tejido nervioso, el almacén y soporte del entramado de neuronas, a las cuales separa para que no existan contactos funcionales no previstos. Además, protegen y limpian al tejido, y sostienen a los capilares sanguíneos.

Por lo común las células de la neuroglía se caracterizan por su forma estrellada y por el extraordinario número de expansiones de disposición radiada. En la sustancia blanca se considera la presencia de astrogía protoplásmica, de expansiones cortas y en la sustancia gris la presencia de astrogía fibrosa, de expansiones largas y delgadas. Algunas de sus prolongaciones se aplican a los vasos

o forman en las inmediaciones de estos un ensanchamiento cónico. Ninguna de estas prolongaciones se bifurca.

Fig. 84a. Células de la neuroglía fibrosa de la sustancia blanca del cerebro humano adulto. Método de Golgi (14). Obsérvense las largas y delgadas prolongaciones celulares. Algunas de esta, los “Pies chupadores” (a, d, b), apoyados en la superficie de un vaso. Estos pies se relacionaron con la posible función nutritiva de las neuronas desde estas células (102, P5).

Fig. 84b. Células de la neuroglía protoplásmica de la sustancia gris del cerebro humano adulto, mostrando prolongaciones cortas y gruesas, algunas de las cuales forman pies chupadores sobre los vasos (V) (102).

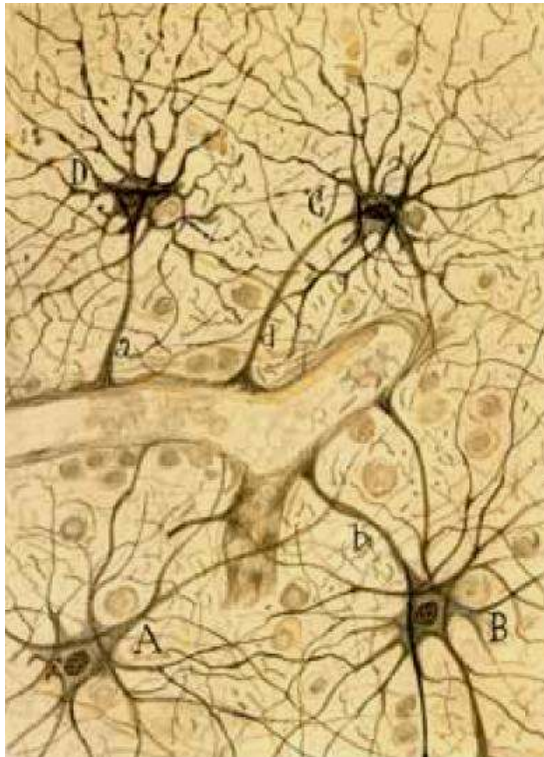


Fig. 84a

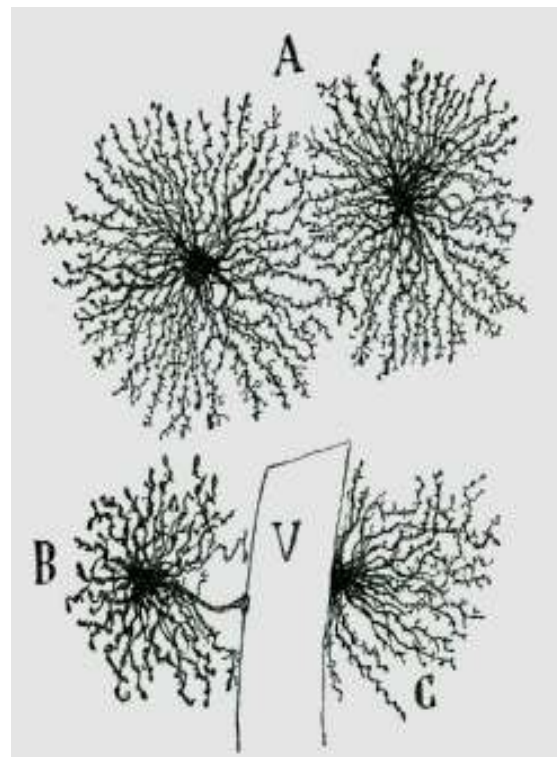


Fig. 84b

Fig. 84c. Células de la microglía de la corteza cerebral humana. Método de Golgi (15, 111, P5, P72).

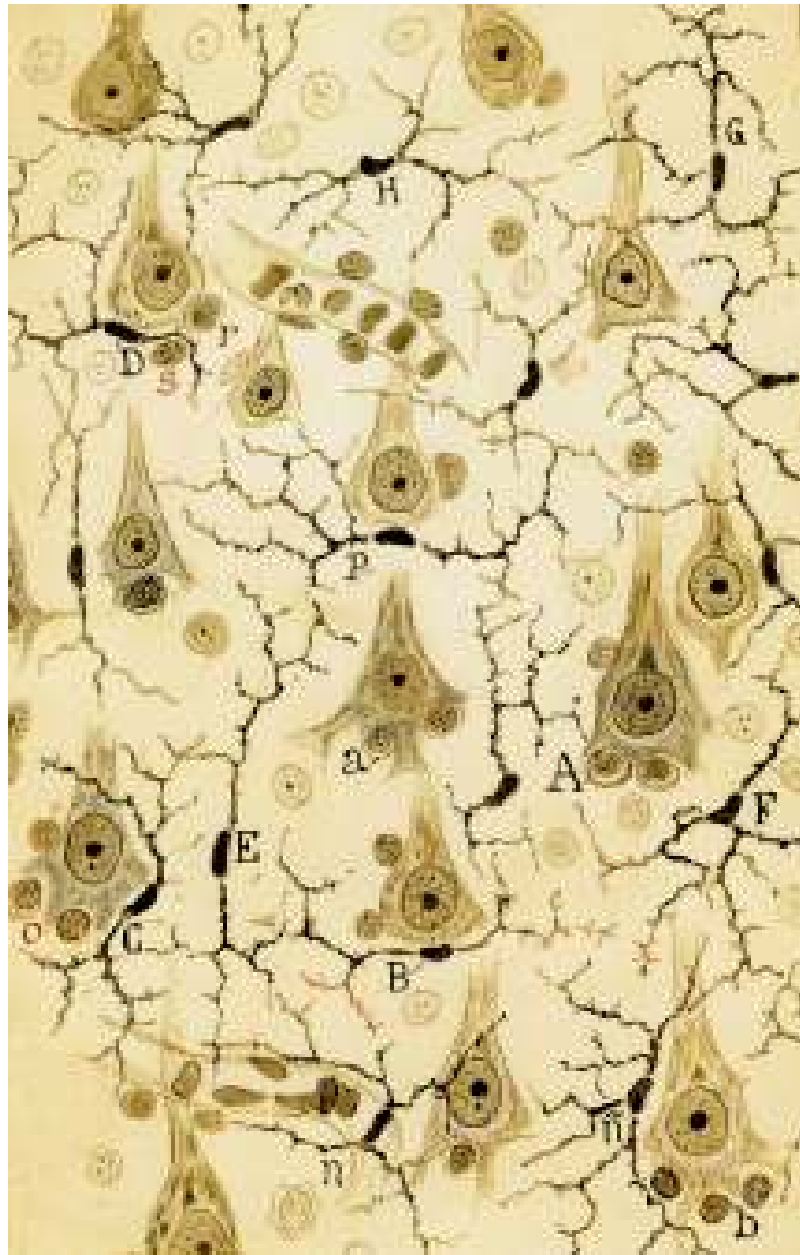


Fig. 84c

6. La fibra nerviosa. Nervios.

Las fibras nerviosas son estructuras de morfología compleja que constan de una prolongación neuronal, que puede presentarse o no revestida por vainas envolventes. A las fibras desprovistas de vaina se las denomina fibras desnudas o de Remak (127). Las fibras nerviosas fueron denominadas “Tubos nerviosos” y en los más complejos del sistema nervioso periférico, se pueden distinguir una serie de estructuras, a las que se les asignó denominación específica, en virtud del apellido del autor que les dio nombre, tal como que queda recogida en la figura siguiente

(Fig. 85a). A la asociación de fibras nerviosas del sistema nervioso periférico, envueltas por tejido de unión y soporte (tejido conjuntivo) se la denomina nervio.

Fig. 85a. dibujo de un tubo nervioso del sistema nervioso periférico, mostrando la máxima complejidad. Vaina de Schwann (a); Disco transversal y estrangulamiento de Ranvier (b); Estría de Fromman (c); Vaina de Mauthner (d); cilindros-conos de mielina; Cisuras de Lantermann (f); Núcleo (h); Citoplasma perinuclear (g); Cilindroeje (i). (5, 102, 103).

Figs. 85b y 85c. Dibujo de la sección transversal de un nervio. Coloración con ácido ósmico. Se observa como la envoltura externa de tejido de soporte, delimita un conjunto de fibras nerviosas seccionadas de través a diferentes niveles. Detalle de las células y las vainas envolventes de las prolongaciones de las células nerviosas (102).

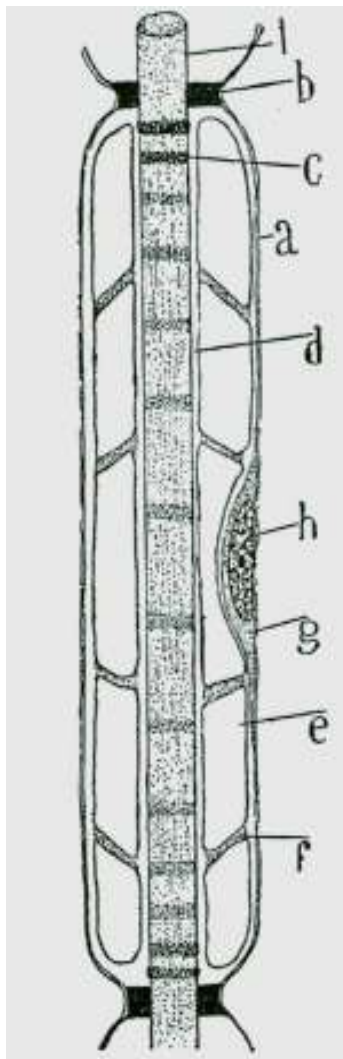


Fig. 85a

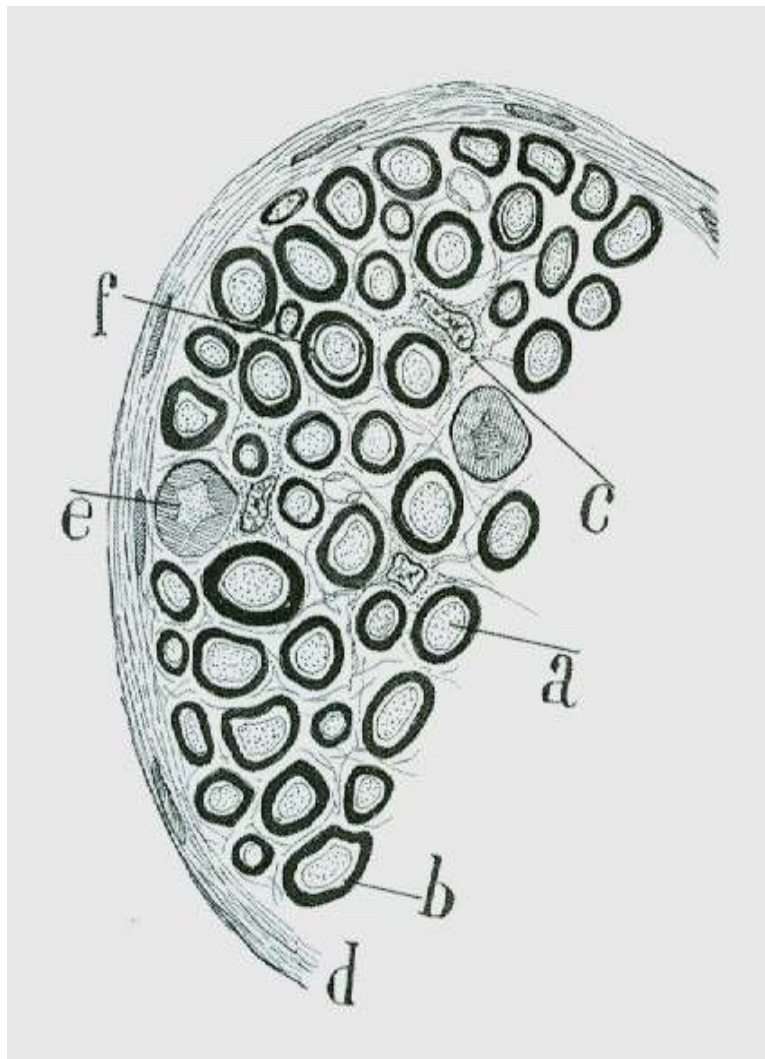


Fig. 85b

Fig. 85d. Célula del lóbulo cerebral eléctrico del pez torpedo, obtenida por disociación, mostrando la estructura del axón con su vaina (fibra nerviosa). Estrangulación de Ranvier (128) (b y d), y axón descubierto o desnudo (e) (102).

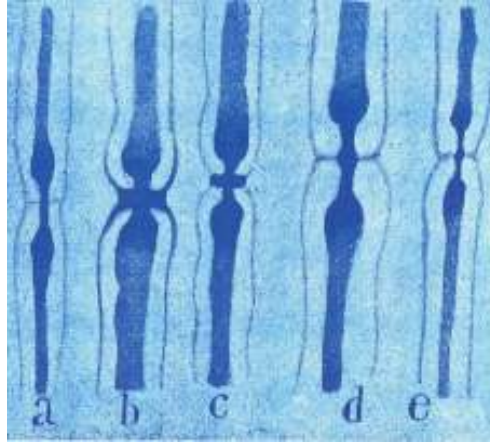


Fig. 85c

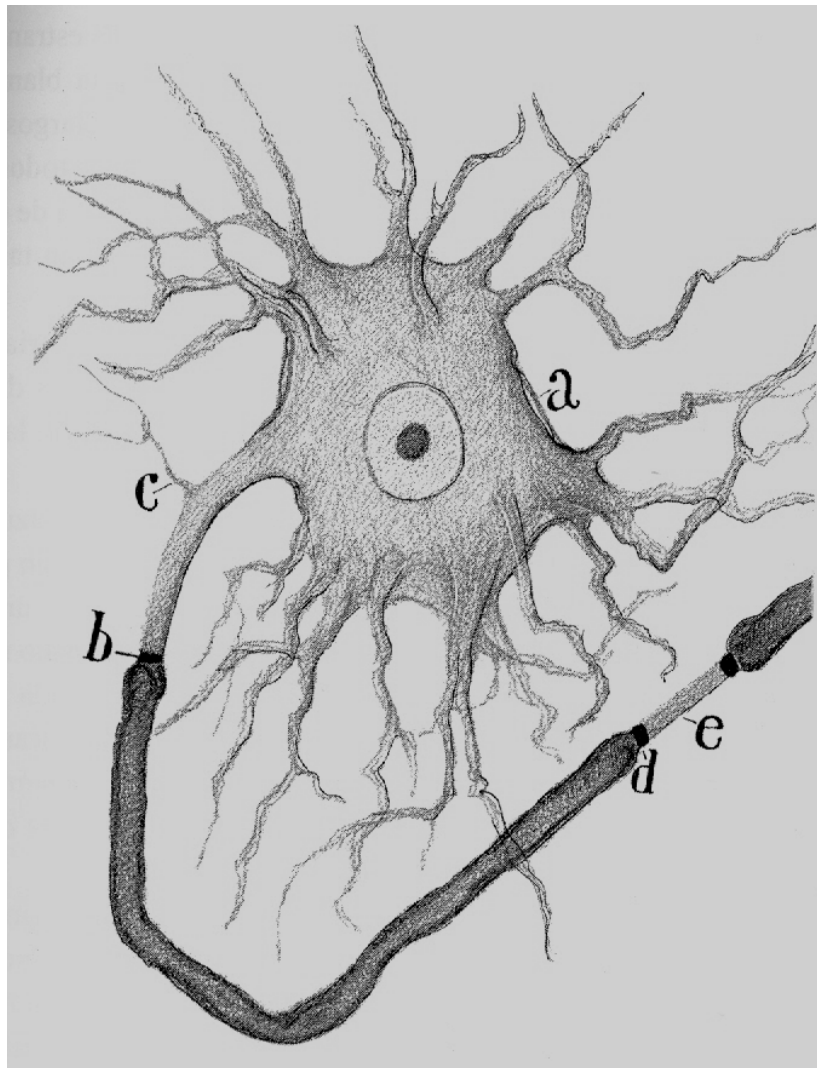


Fig. 85d

7. Los centros nerviosos

Tras el análisis de los dibujos más significativos de Cajal, sobre los elementos del tejido nervioso, pasamos al estudio de los dibujos realizados en relación con los órganos del sistema nervioso, denominados Centros Nerviosos.

Los centros nerviosos están formados por dos tramas o sustancias de aspecto y color diferentes, la sustancia blanca y la sustancia gris. La sustancia blanca consta de prolongaciones de células nerviosas y de células de la glía. La sustancia gris está formada por agregación de cuerpos (somatos) de células nerviosas y sus radiaciones inmediatas, así como por elementos de la glía (102).

7. 1. La médula espinal y órganos relacionados

La médula espinal es un cordón nervioso de color blanco, alojado en el interior de la columna de vértebras, desde el agujero occipital del cráneo. En una sección transversal, teñida con cualquier técnica, se observan dos formaciones bien delimitadas, la sustancia blanca que constituye una corteza periférica y la sustancia gris, con forma de mariposa con las alas extendidas, que se encuentra atravesada centralmente por un delgadísimo conducto denominado epéndimo. La sustancia gris presenta dos astas anteriores y dos posteriores (bordes de las alas de mariposa). Desde las raíces de las astas salen prolongaciones neuronales dirigidas hacia los ganglios nerviosos, los músculos o los corpúsculos sensoriales.

Fig. 86a. Fibras nerviosas colaterales de la médula espinal de perro recién nacido. Método de Golgi (15, 102).

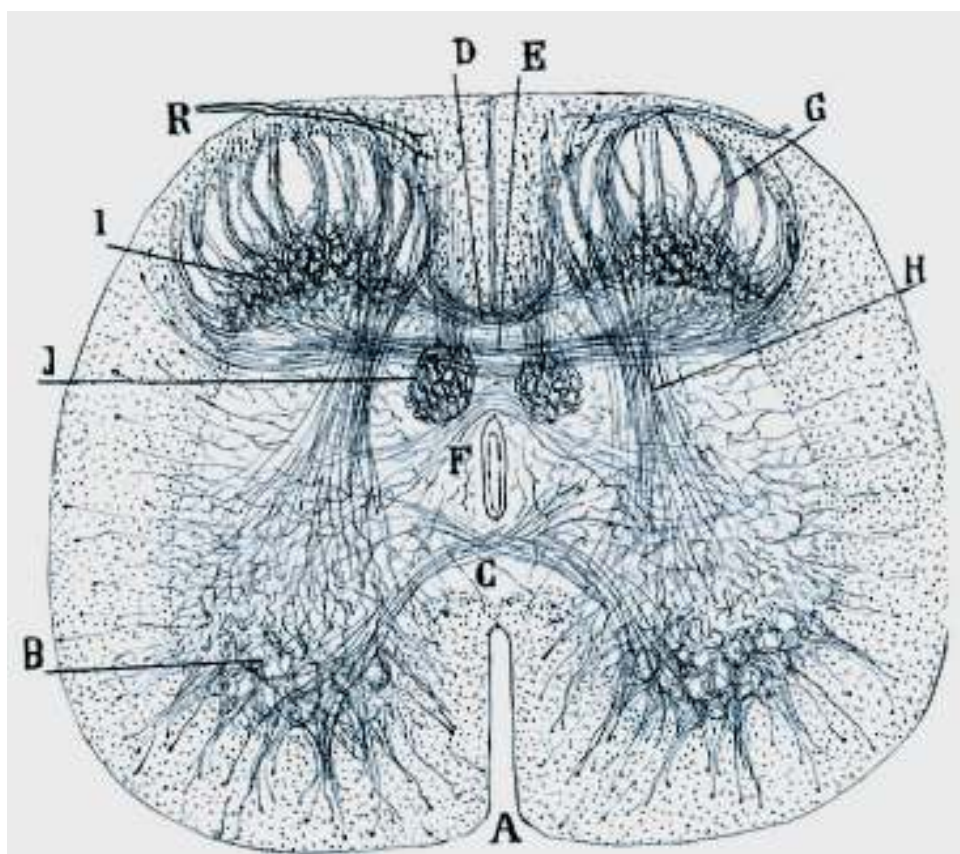


Fig. 86a

Fig. 86b. Neuroglía de las sustancias gris y blanca de la médula espinal, mostrando alrededor del epéndimo un tipo especial de glía denominada “Glía endimaria” o “Glía epitelial” (102)

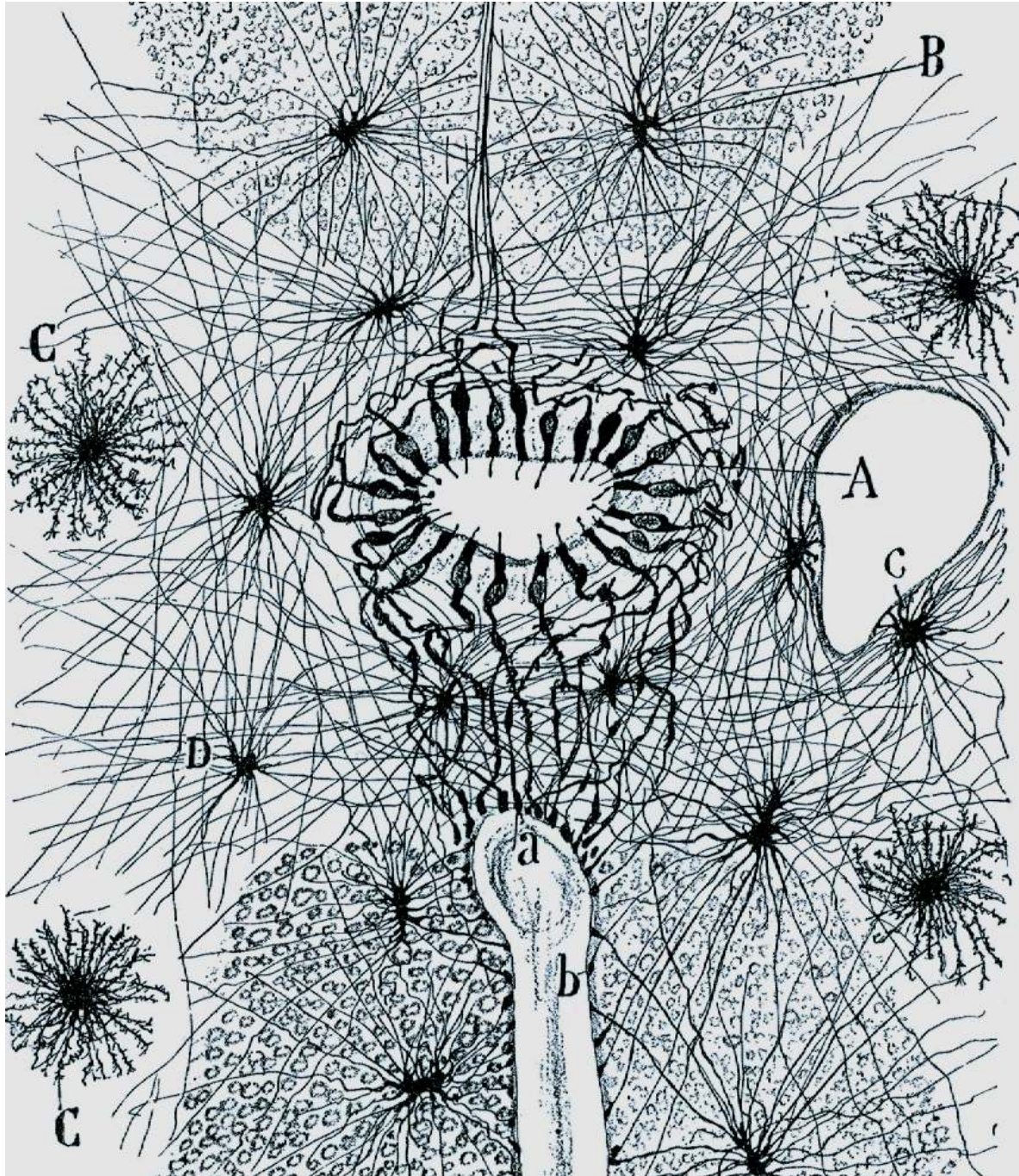


Fig. 86b

**Fig. 86c. Células de las astas posteriores de la médula de un feto de gato.
Método de Golgi (15, 102).**

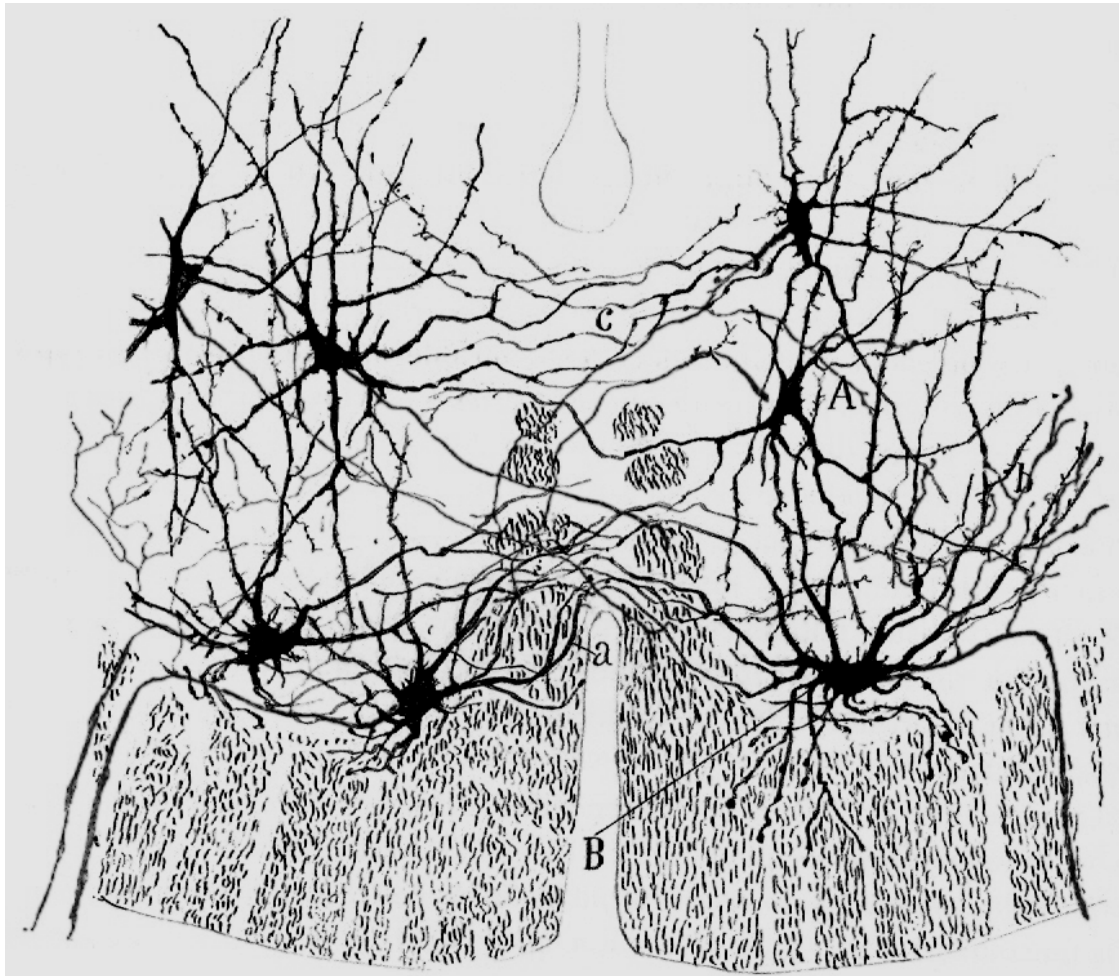


Fig. 86c

Fig. 86d. Detalle de la morfología de estas células



Fig. 86c

Las fibras nerviosas motrices de las astas anteriores, al llegar al par raquídeo correspondiente se disocian en dos corrientes, una que va a terminar en las células musculares como órgano efector y otra que llegan a los ganglios simpáticos (102).

Fig. 87a. Arborización nerviosa terminal (a) en una célula muscular de rana (102).

Fig. 87b. Corte longitudinal de un ganglio raquídeo de gato teñido con el método de Nissl (102, 113).

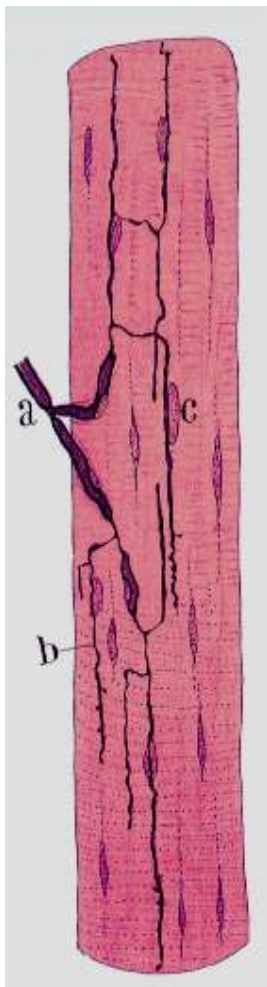


Fig. 87a



Fig. 87b

Fig. 87c. Célula ganglionar raquídea de gato, teñida con hematoxilina (102).

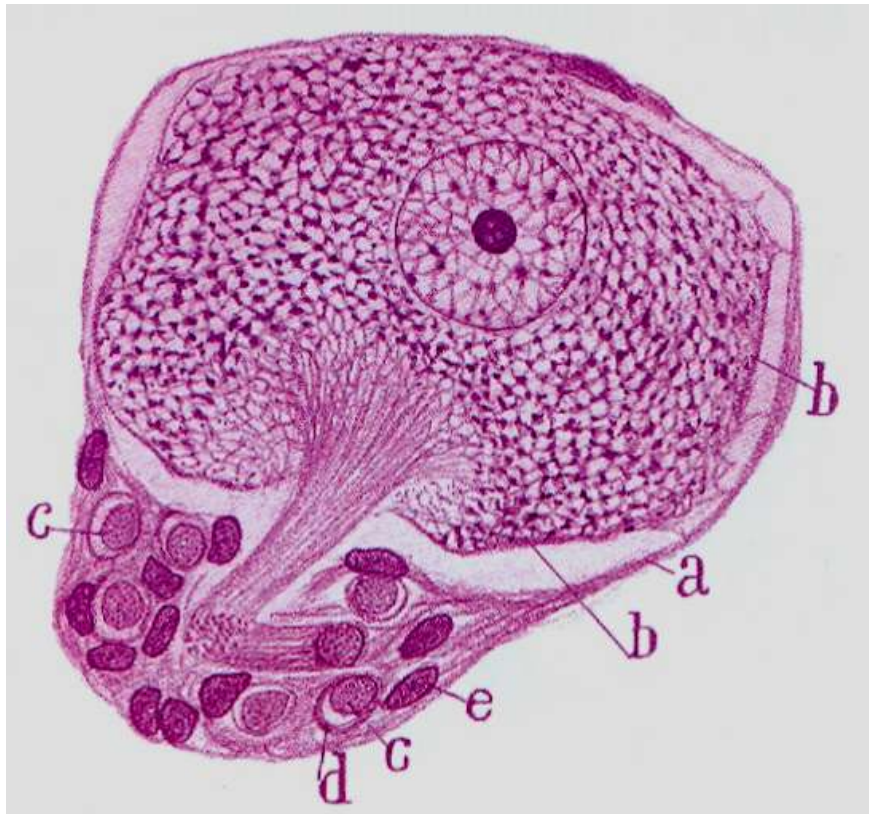


Fig. 87c

Fig. 87d. Corte de la piel mostrando un corpúsculo sensorial de Meissner (129). Método del nitrato de plata reducido. Fibra sensitiva (A); botón Terminal bajo la epidermis (a) (102).



Fig. 87d

Fig. 87e. Corpúsculo sensorial genital del glande humano. Coloración por el método de Ehrlich (116).

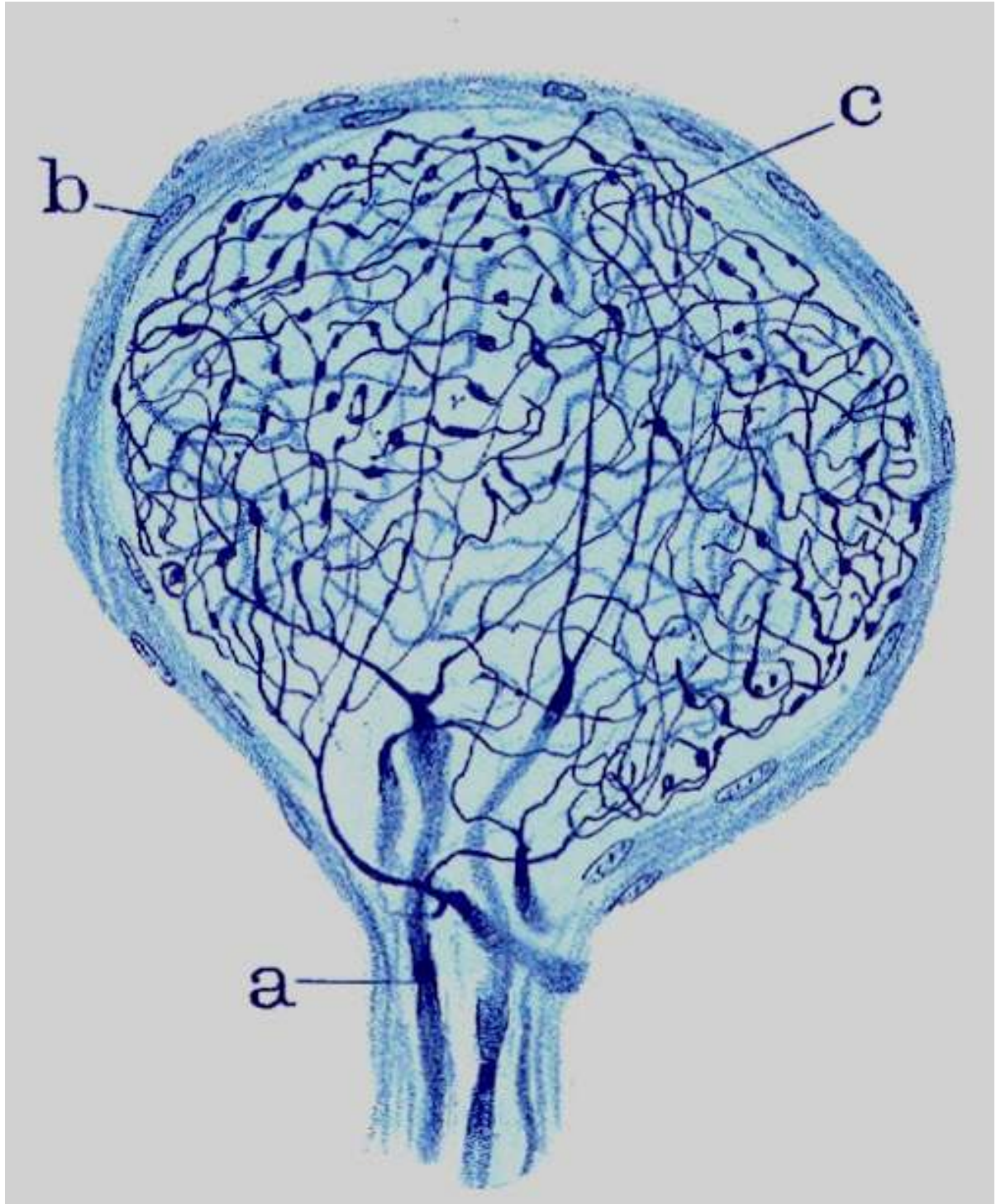


Fig. 87e

Fig. 87f. Corpúsculo de Pacini de la piel humana (130). Método del cloruro de oro (104).

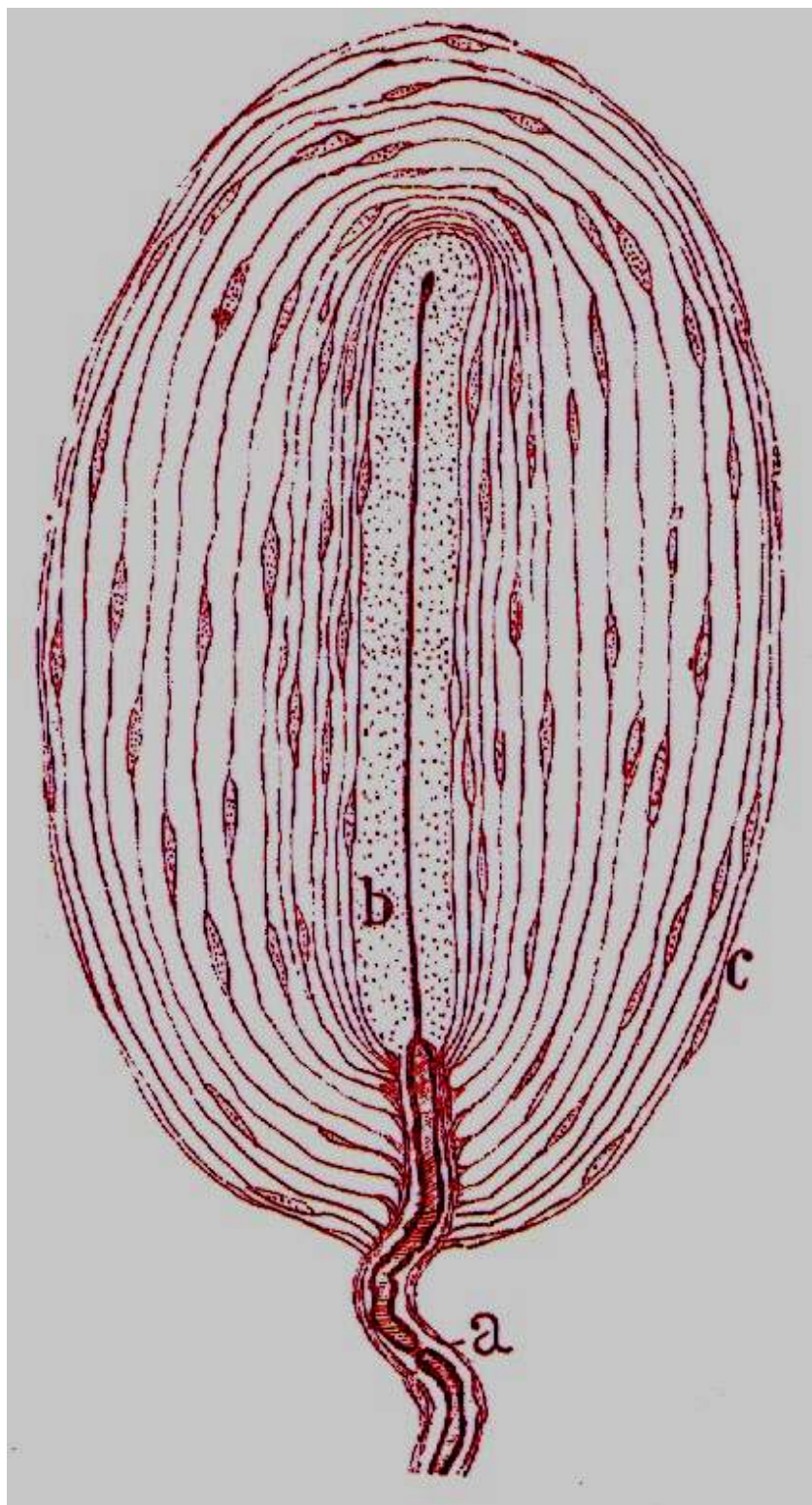


Fig. 87f

Fig. 87g. Sección transversal de la médula espinal de *Ciprinus Carpio* L. (Teleósteo). Coloración con hematoxilina (102).

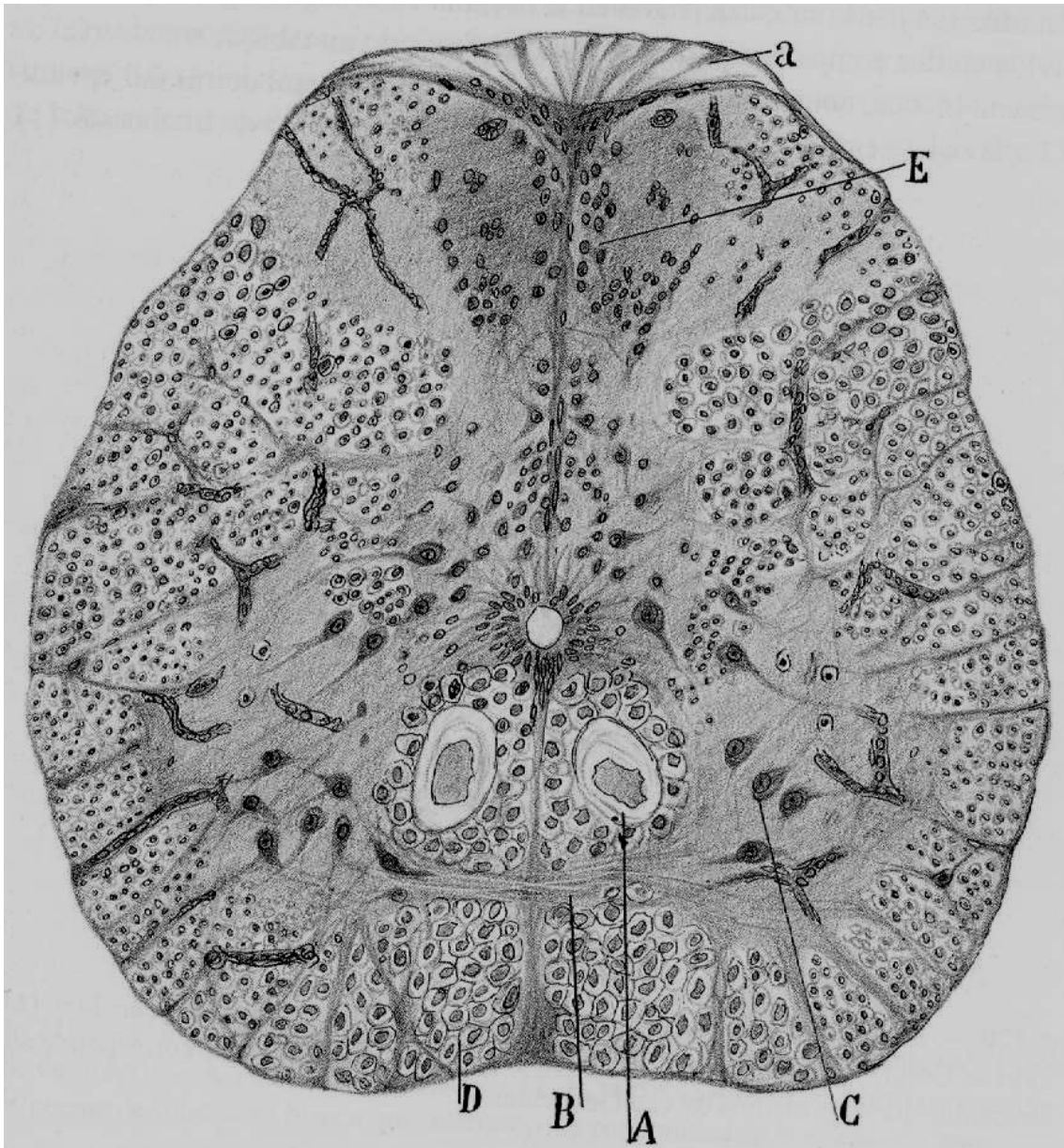


Fig. 87g

7. 2. El cerebelo

El cerebelo consta de una sustancia blanca central, y de una corteza gris rosácea, la cual aparece surcada por numerosas circunvoluciones delgadas, denominadas laminillas, en gran parte paralelas y orientadas transversalmente (103).

Al microscopio óptico, una sección delgada de una laminilla cerebelosa, coloreada con carmín o anilinas, presenta tres zonas: 1) Capa plexiforme (conocida como capa molecular); 2) Capa de los granos, de células de axón bifurcado o de

células enanas; y 3) Capa de la sustancia blanca. Se admite la presencia de otra capa situada entre la primera y la segunda zona, se trata de la capa de células gigantes o de Purkinje (126), que forma un conjunto de cuerpos ovoideos dispuestos en hilera horizontal.

Fig. 88a. Sección de laminilla del cerebelo mostrando las tres capas y sus diferentes tipos celulares (103, 126). Dibujo mural realizado con tiza y lápices de colores (P73).

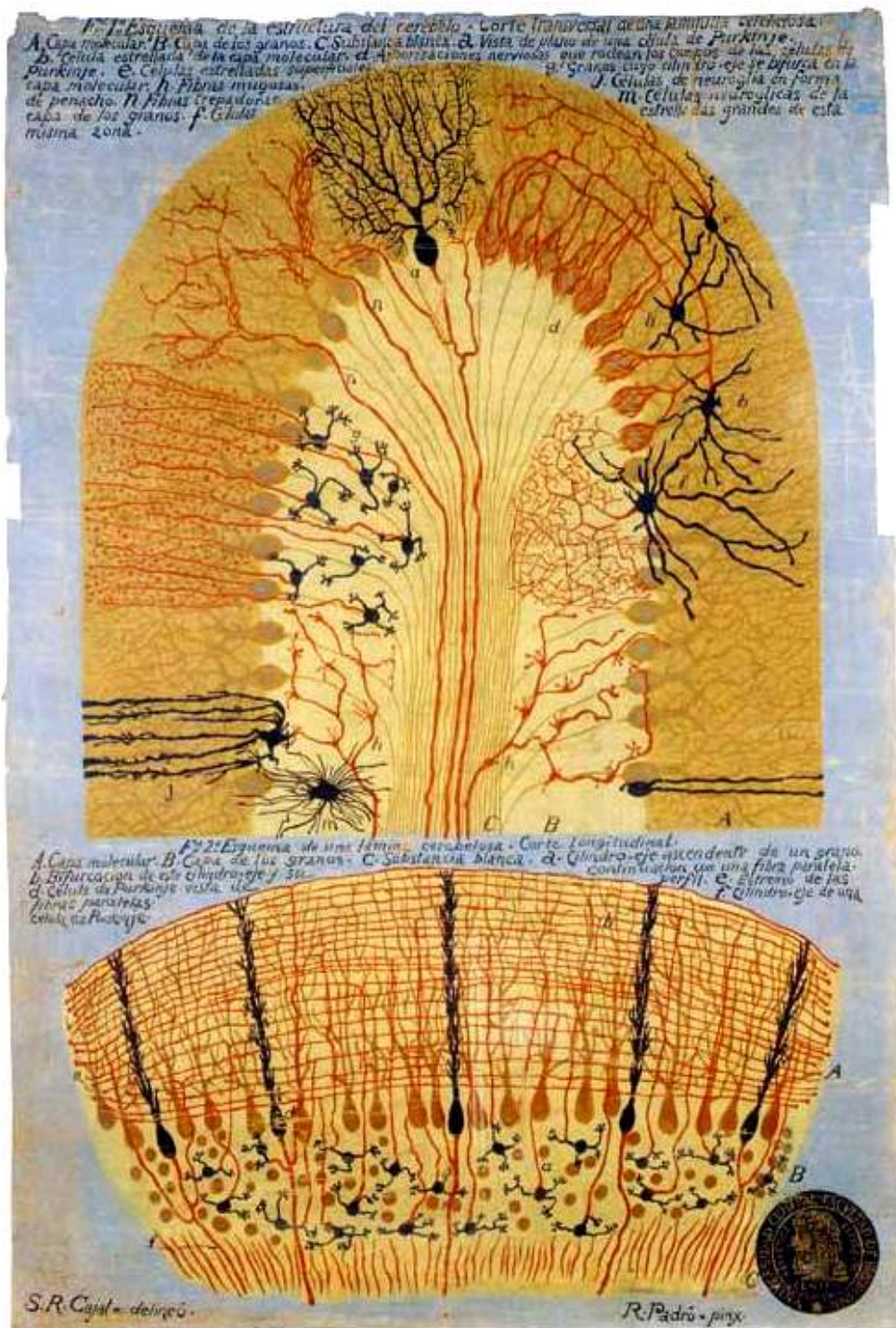


Fig. 88a

Fig. 88b. Célula de Purkinje (126) (véase también Fig. 81d).

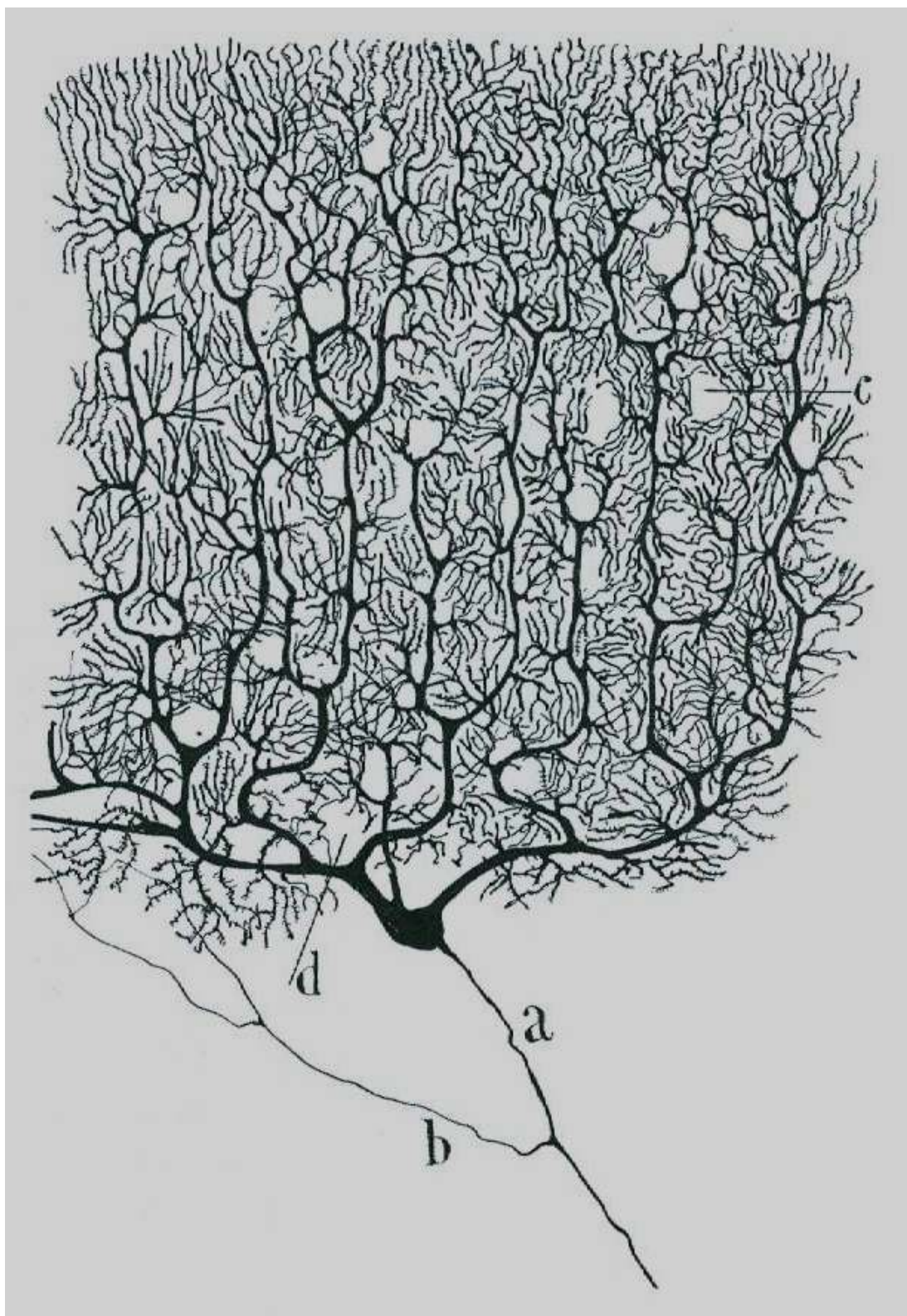


Fig. 88b

Fig. 88c. Axones de las células de Purkinje de gato adulto. Tinción con azul de metileno según el método de Ehrlich (103, 116).

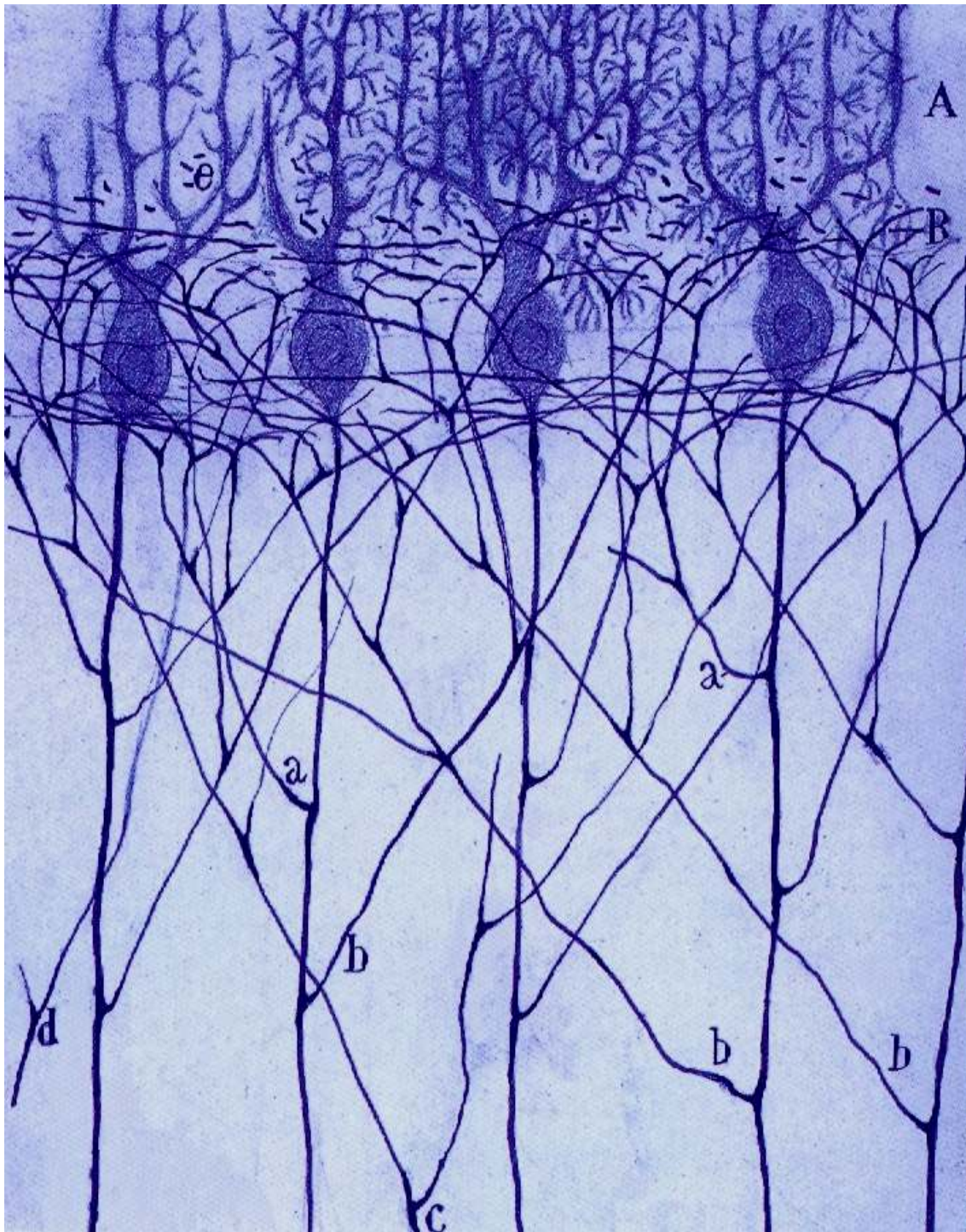


Fig. 88c

Fig. 88d. Cerebelo de perro adulto. Células estrelladas de la capa molecular (A, B, C, D); Células de Purkinje (H) (103, 126).

Fig. 88e. Célula de los granos (A) y célula estrellada de Golgi (B). Método del nitrato de plata reducido (103, 104).

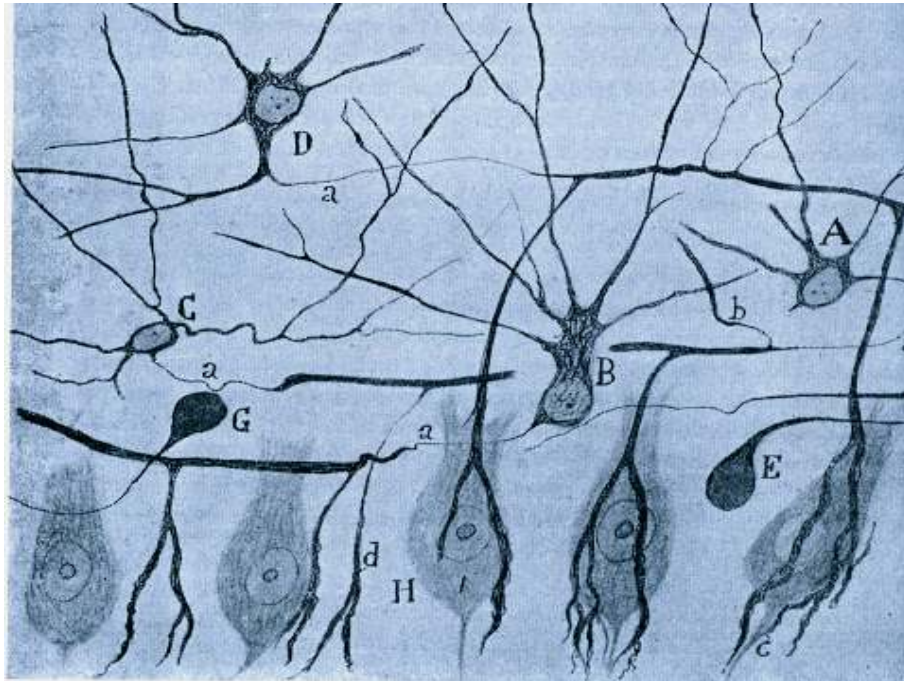


Fig. 88d



Fig. 88e

Fig. 88f. Células estrelladas (A). Método de Golgi (15, 103).

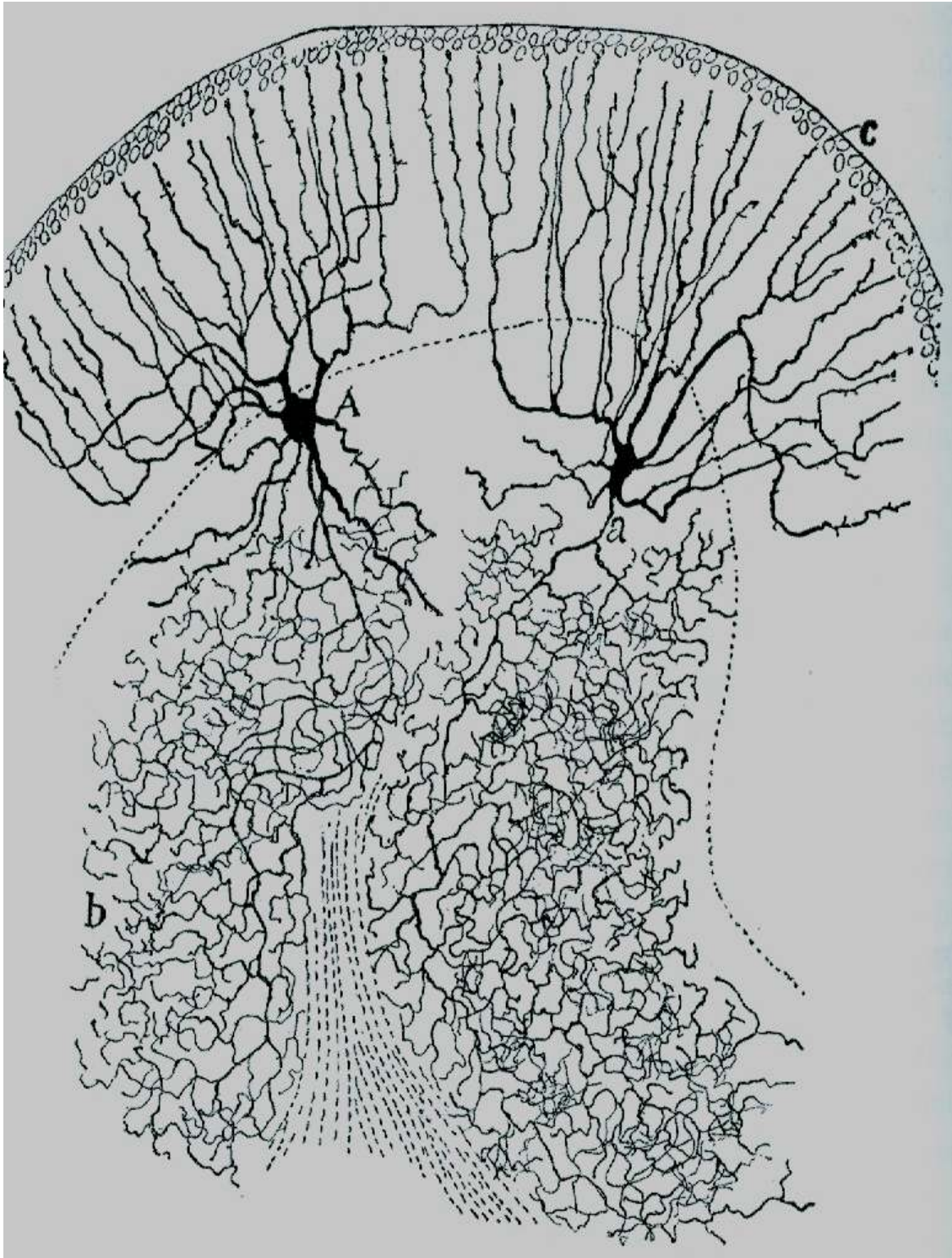


Fig. 88f

Fig. 88g. Fibra trepadora (a) sobre una célula de Purkinje (b) (102, 126).

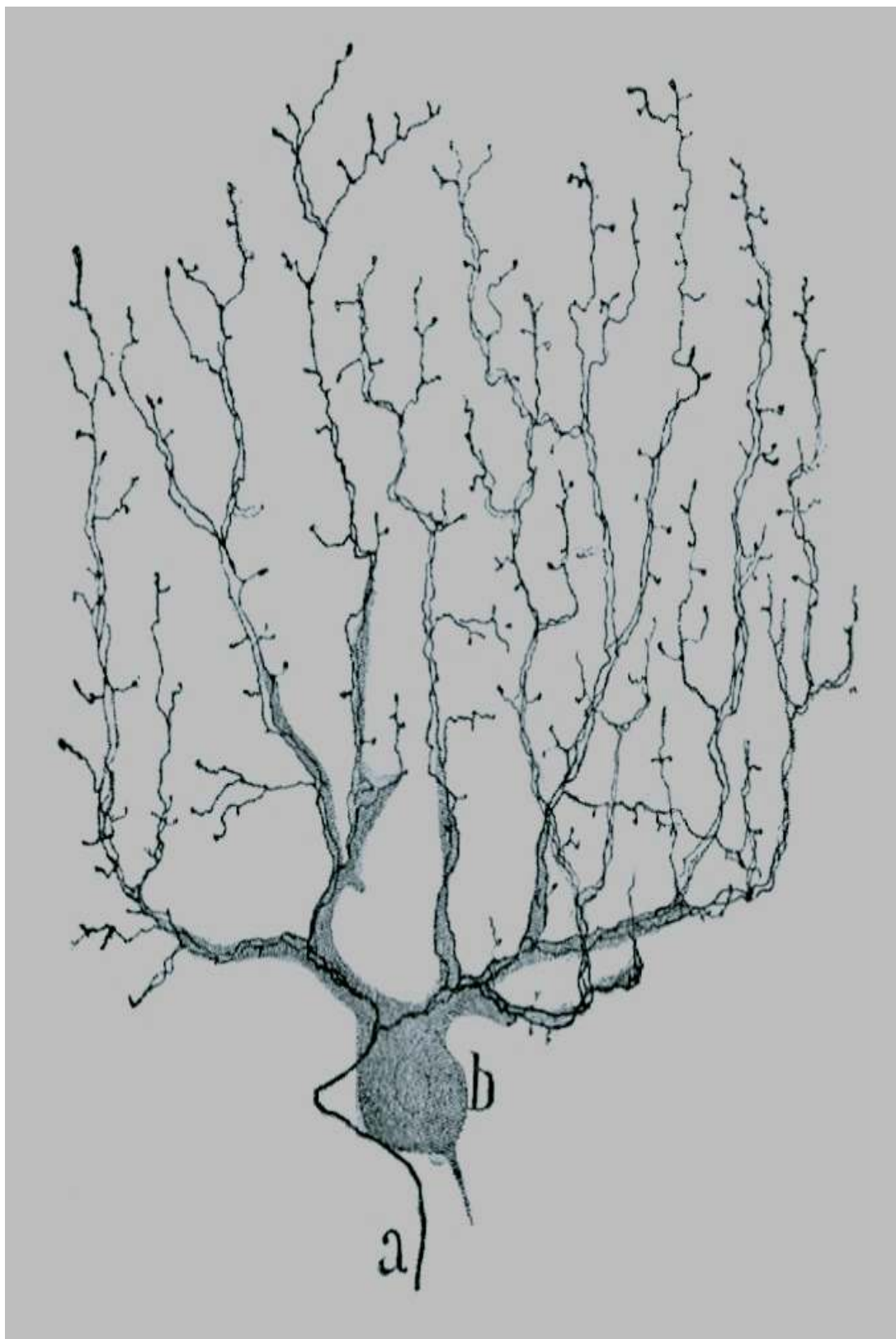


Fig. 88g

Fig. 88h. Sección de circunvolución cerebelosa de conejo recién nacido. Método de Nissl (113). Se observa la disposición en capas de los cuerpos celulares (102, 103).

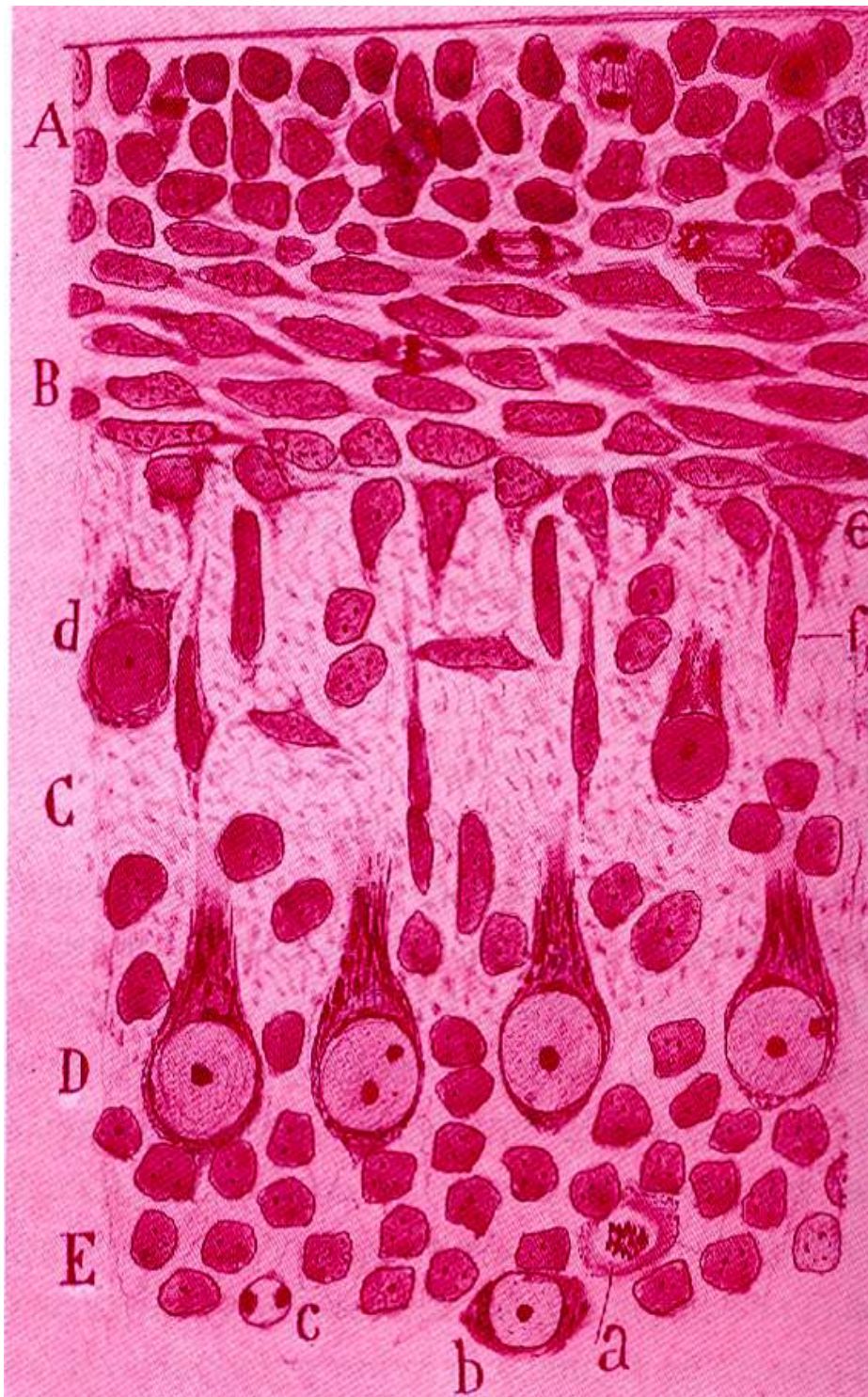


Fig. 88h

7. 3. La retina

La retina de mamíferos es un ganglio mebranoso cóncavo, de estructura compleja, situado en el fondo del ojo, entre la capa coroidea y el humor vítreo. En una sección delgada teñida con una técnica de rutina (hematoxilina-eosina), se observan una serie de capas de disposición paralela y concéntrica, en número de ocho (123): 1) Membrana limitante interna; 2) Capa de fibras nerviosas; 3) Capa de las células nerviosas; 4) Capa granulosa; 5) Capa de los granos internos; 6) Capa intergranular; 7) Capa de los granos externos; 8) Capa de los bastoncitos. Posteriormente se determinó la presencia de una capa limitante externa y la capa del epitelio pigmentario (103).

Fig. 89a. Sección perpendicular de retina, mostrando las capas y los tipos celulares (103, P74).

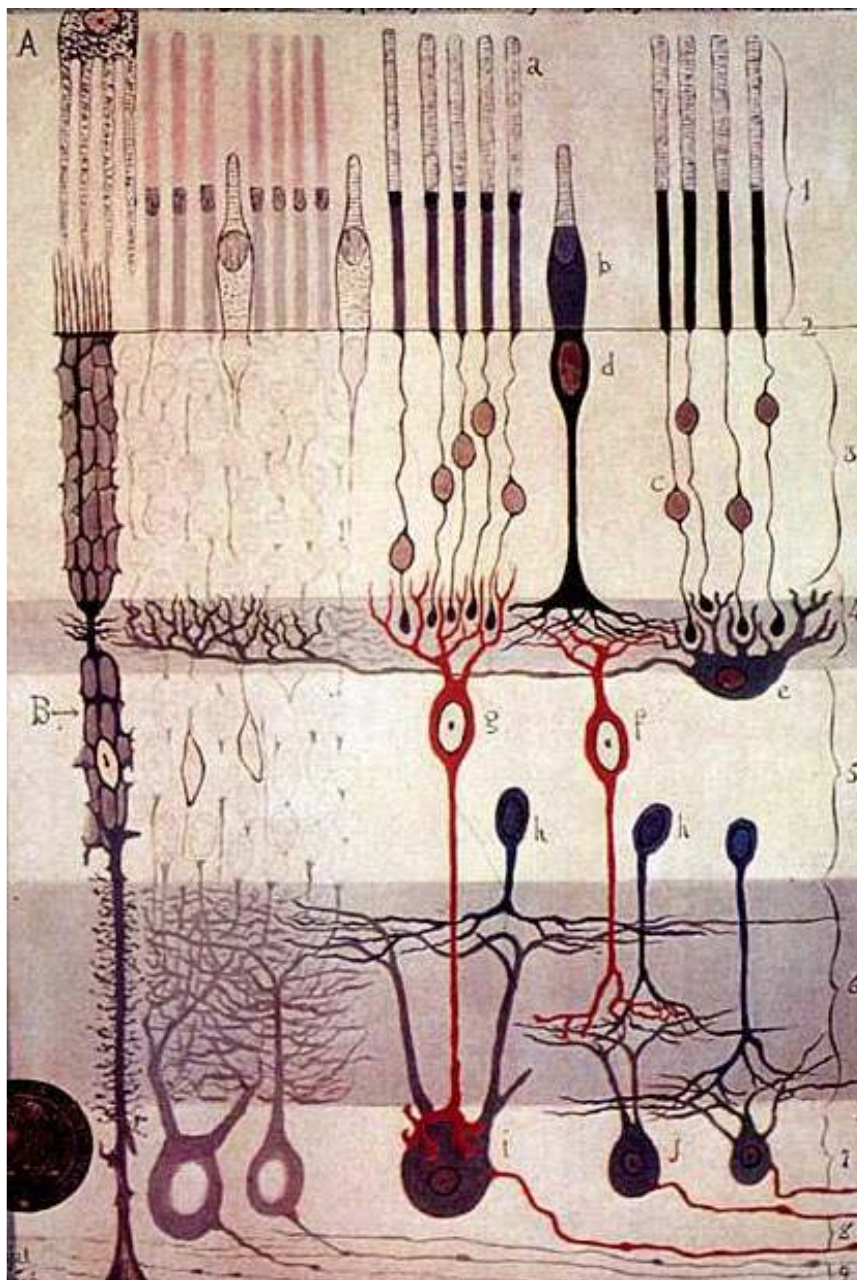


Fig. 89a

Fig. 89b. Sección perpendicular de retina. Detalle de las células de las distintas capas. Método de Golgi (14, 103, P72).

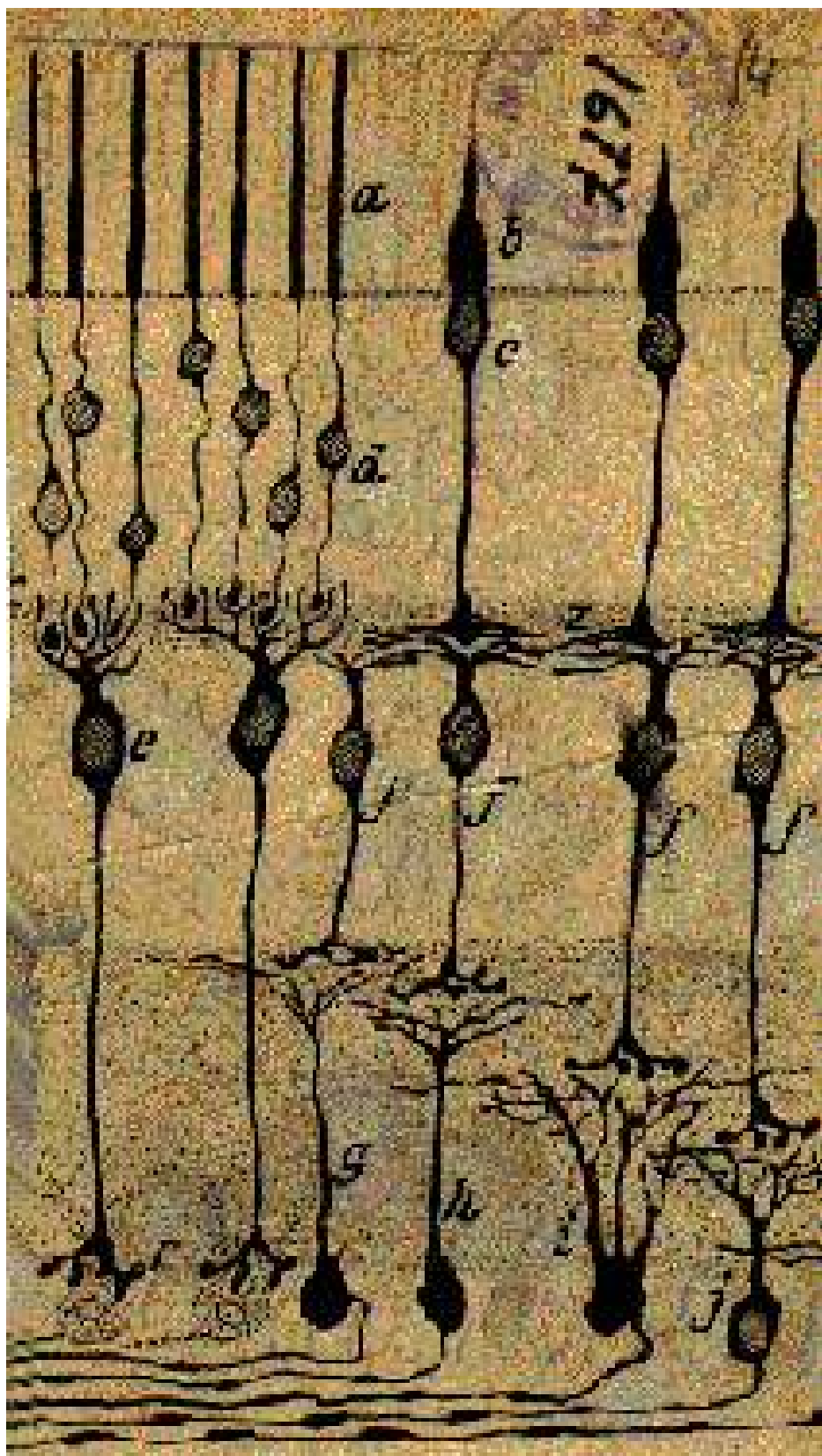


Fig. 89b

Fig. 89c. Sección de retina humana teñida con Carmín y método de Nissl (113) combinados. Se observan teñidos los núcleos celulares y parte del citoplasma de algunas células (103).

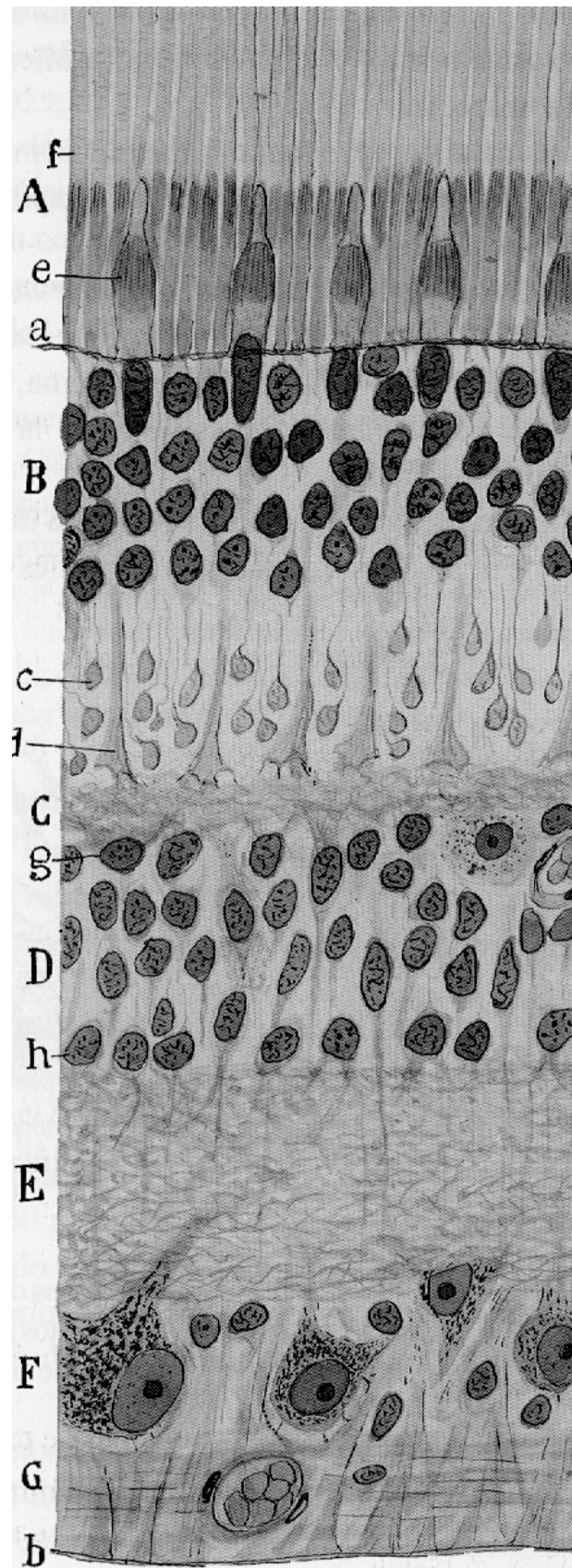


Fig. 89c

Fig. 89d. Células horizontales vistas por su cara inferior. Método de Ehrlich (103, 116).

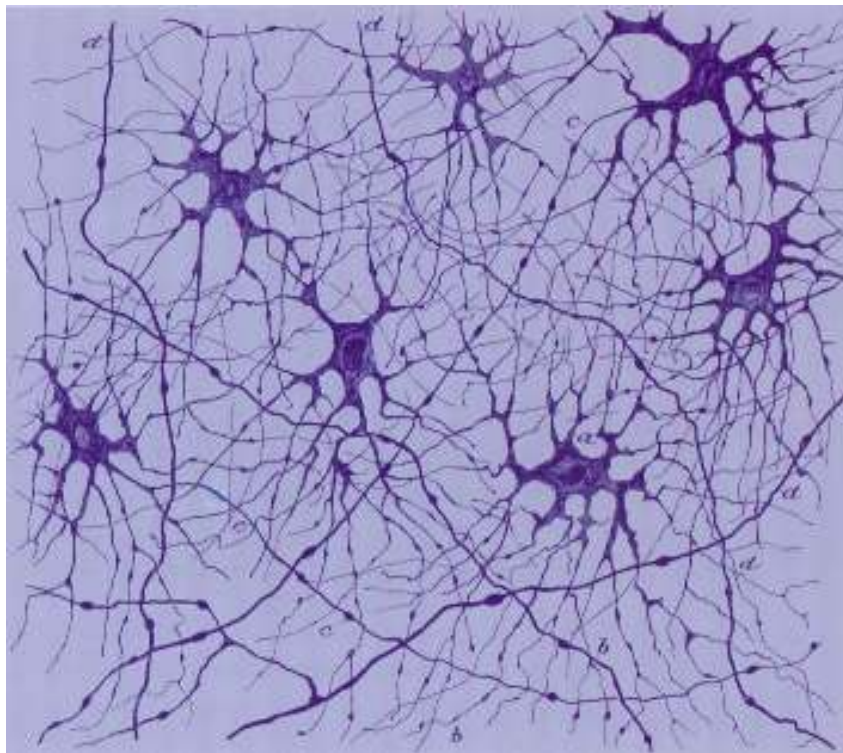


Fig. 89d

Fig. 89e. Sección de la capa de células horizontales teñida con el método del nitrato de plata reducido (103, 104).

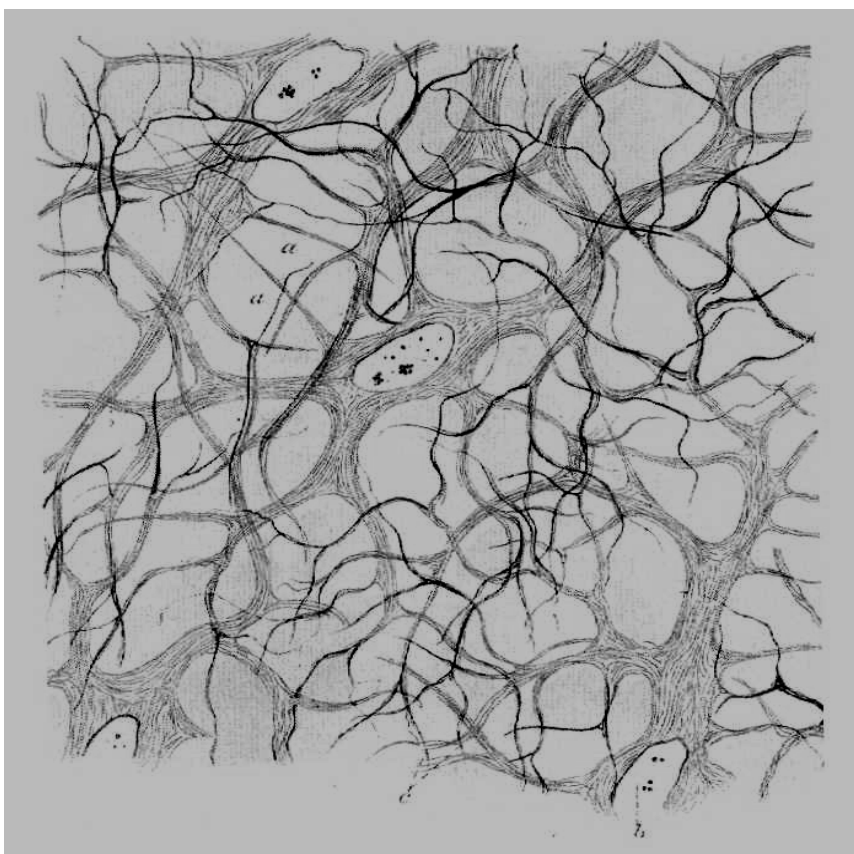


Fig. 89e

7. 4. La corteza cerebral

La sustancia gris de las circunvoluciones cerebrales muestra una zonación evidente al microscopio. Prescindiendo de diferencias regionales, se pueden diferenciar al menos siete capas: 1) Capa plexiforme (molecular de muchos autores); 2) Capa de las pequeñas piramidales; 3) Capa de las medianas y grandes piramidales externas; 4) Capa de las piramidales enanas y corpúsculos estrellados; 5) Capa de las piramidales grandes profundas; 6) Capa de las piramidales medianas profundas; y 7) Capa de las células triangulares y fusiformes. Algunos autores incluyen nuevas capas resultado de separar las anteriores, o de considerar alguna otra zona plexiforme (131).

Fig. 90a. Sección vertical de corteza cerebral, mostrando las células distribuidas en capas. Método de Nissl (5, 113).

Fig. 90b. Células de las capas más externas de la corteza cerebral humana, teñida con el método de Nissl (5, 113).



Fig. 90a

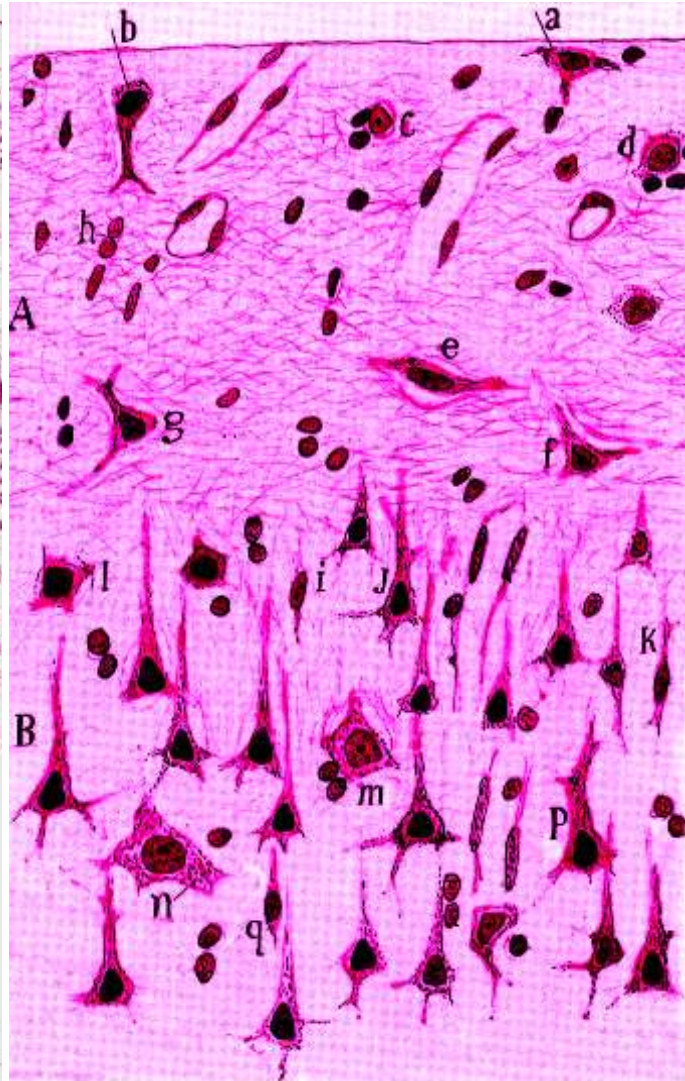


Fig. 90b

Fig. 90c. Capa plexiforme del gato adulto (sección horizontal), mostrando células de morfología estrellada, con tamaño y forma variada. Método de Ehrlich (5, 116).

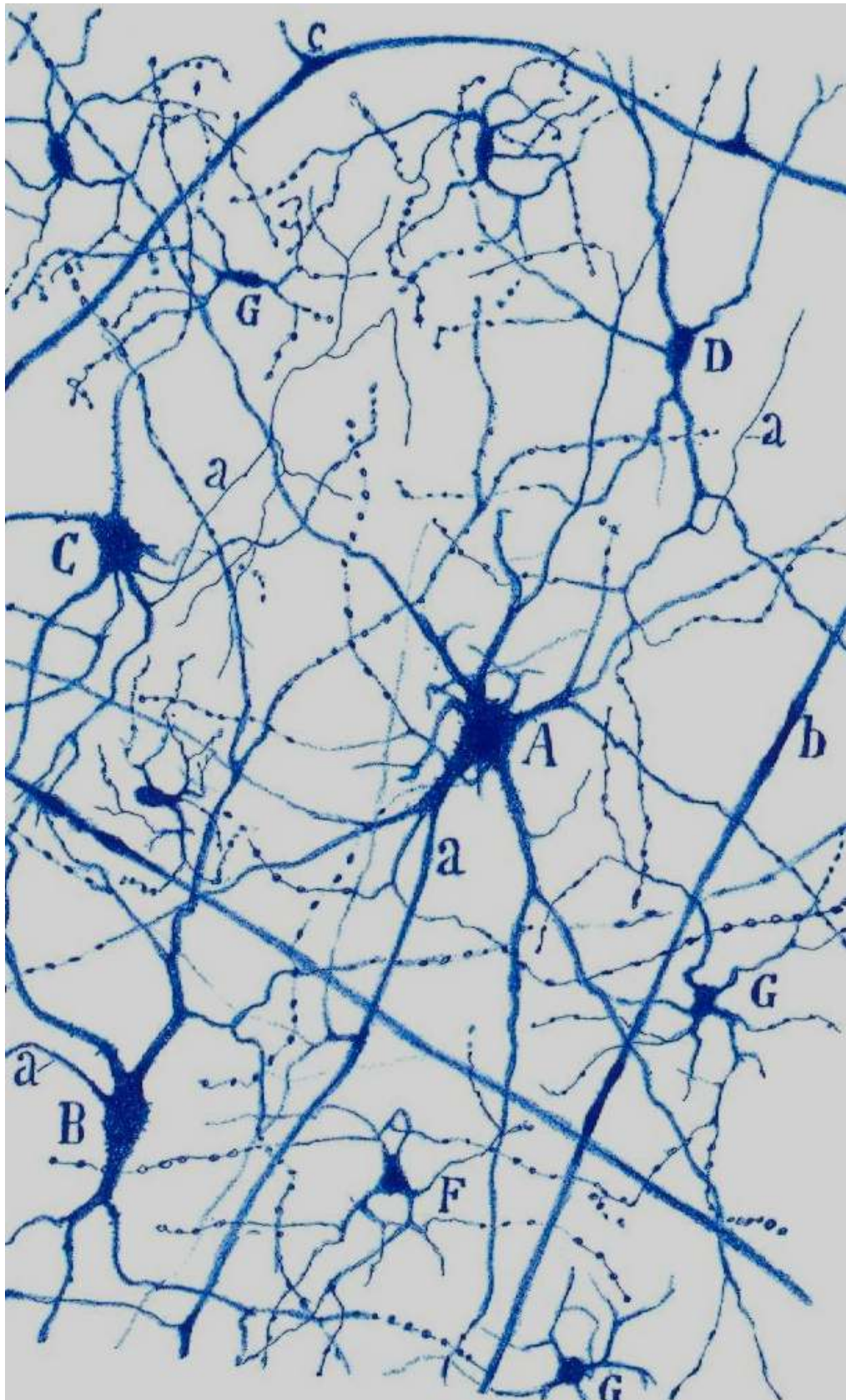


Fig. 90c

Fig. 90d. Células de las capas más externas de la corteza cerebral de un niño de un mes. Método de Golgi (6, 15).

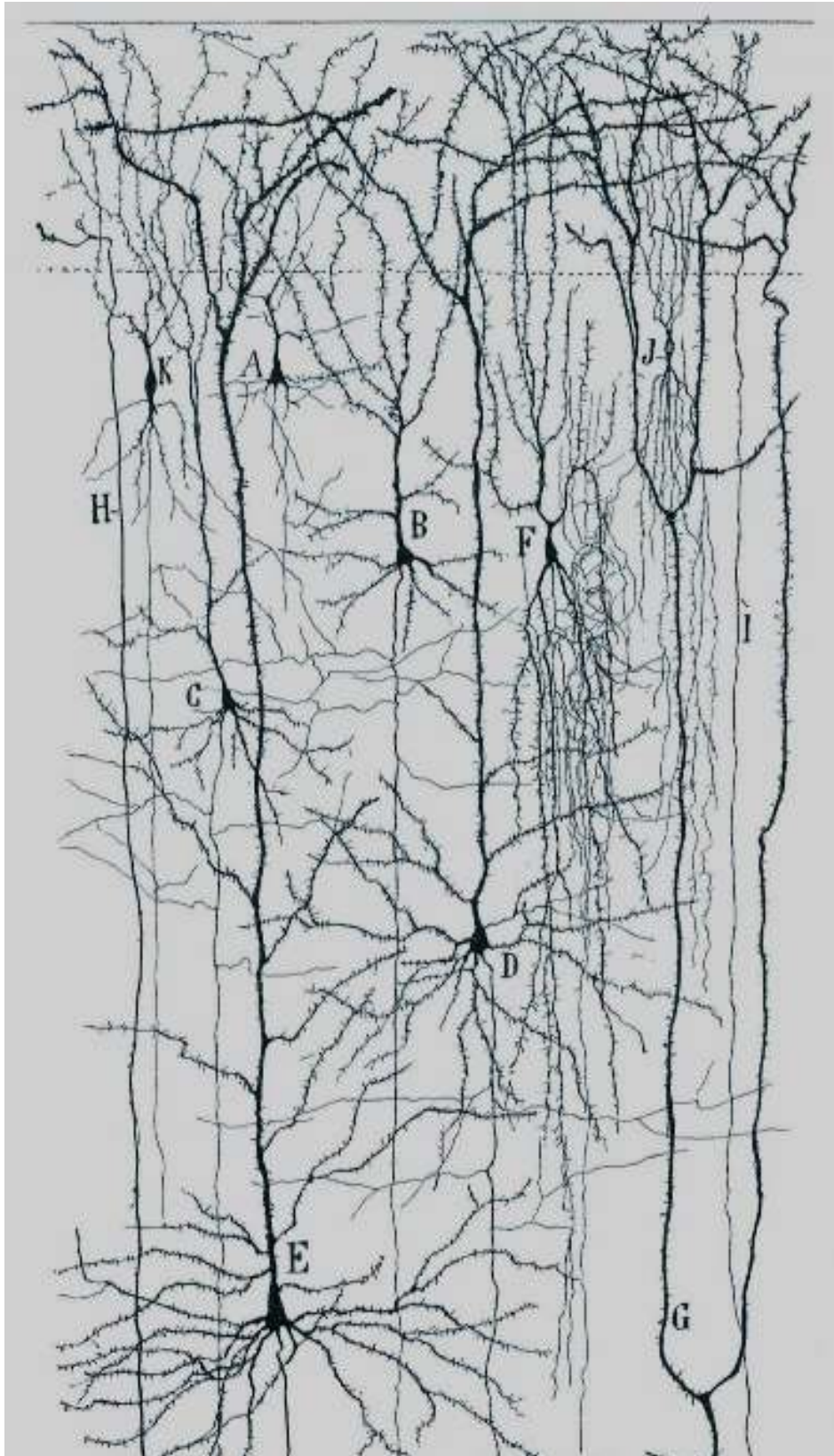


Fig. 90d

Fig. 90e. Células de axón corto. En corteza cerebral de gato adulto. Método de Ehrlich (6, 116).

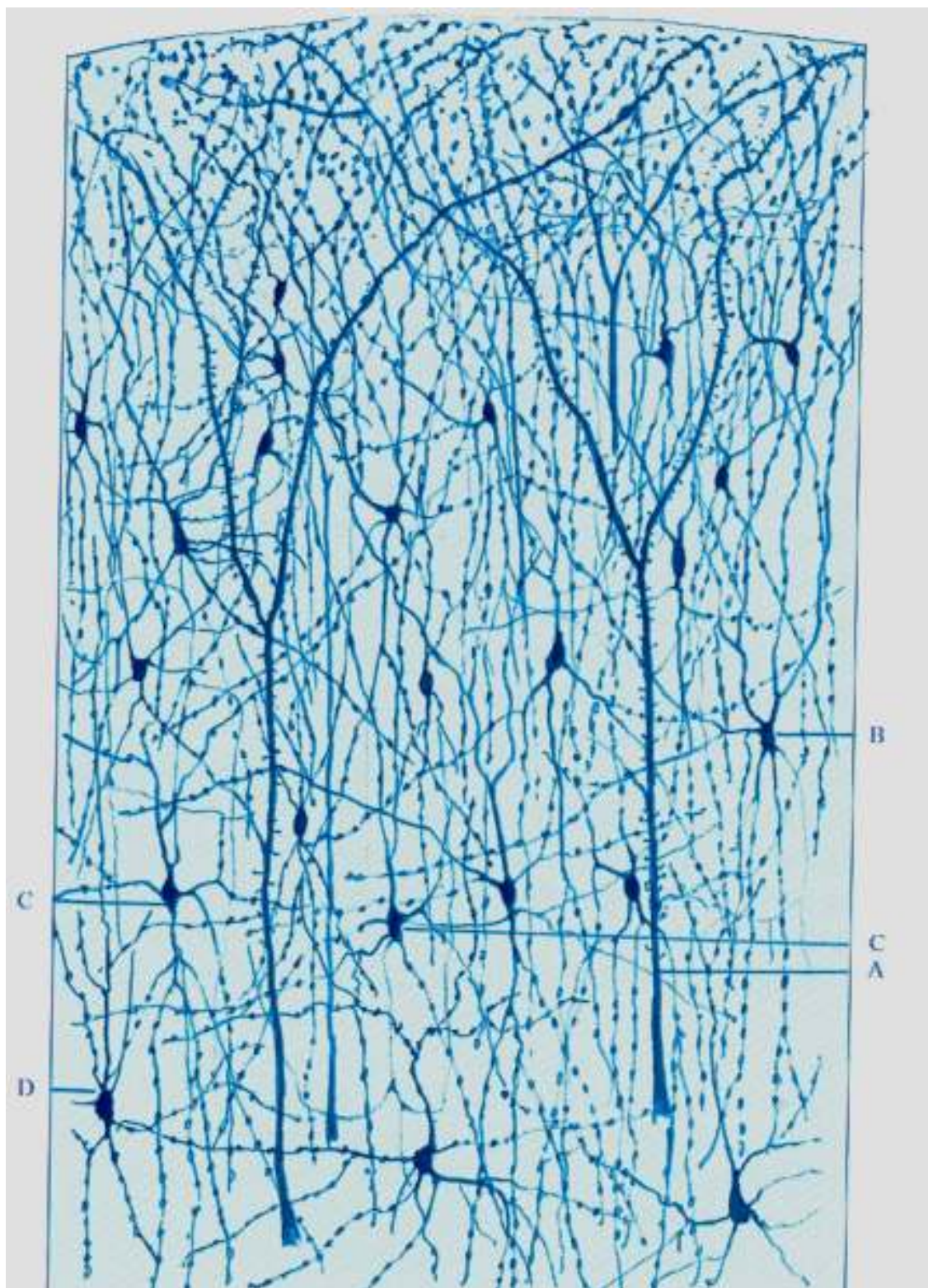


Fig. 90e

Fig. 90f. Células de la porción media de la corteza cerebral humana (zona de los granos). Método de Nissl (6, 113).

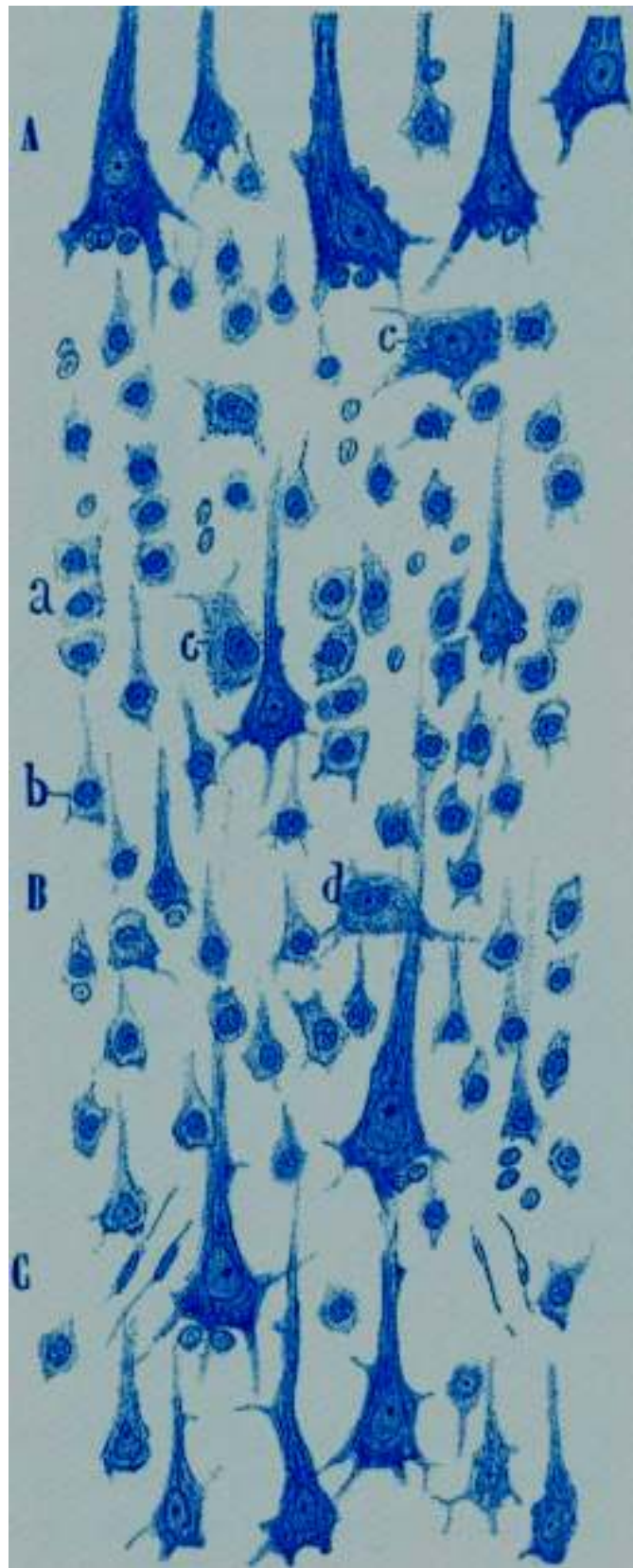


Fig. 90f

Fig. 90g. Célula piramidal impregnada con el método de Golgi. Corresponde a una "Pirámide gigante profunda" de la región motriz del hombre. *a*, axon; *b*, dendritas *d*, colaterales axónicas (P5).

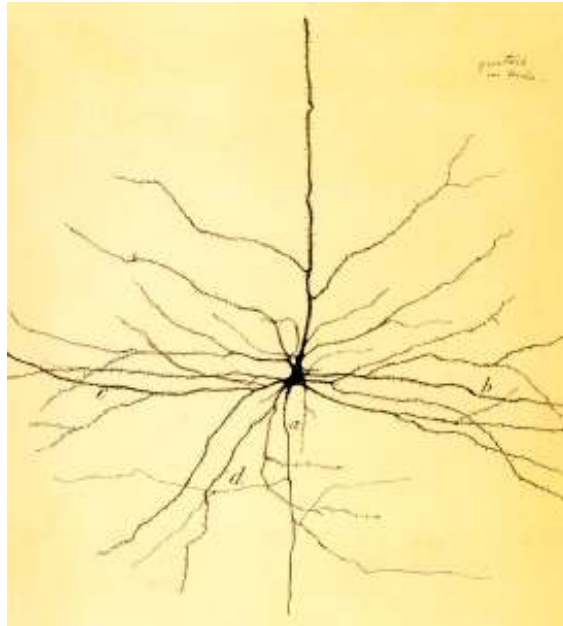


Fig. 90g

8. Relación entre micrografías y dibujos

De acuerdo con lo indicado en la sección dedicada a “Material y métodos”, a continuación se incluye un pequeño grupo de fotografías microscópicas (micrografías) acompañadas de dibujos histológicos, realizados por Cajal al observar áreas similares a las de las fotos, en sus preparaciones histológicas (fotografías y dibujos tomados de García López y col., de 2010 (100)). El objeto de este apartado es facilitar el análisis comparativo de la realidad observable al microscopio y el correspondiente dibujo realizado por Cajal (Figs. 91, 92, 93, 94 y 95).

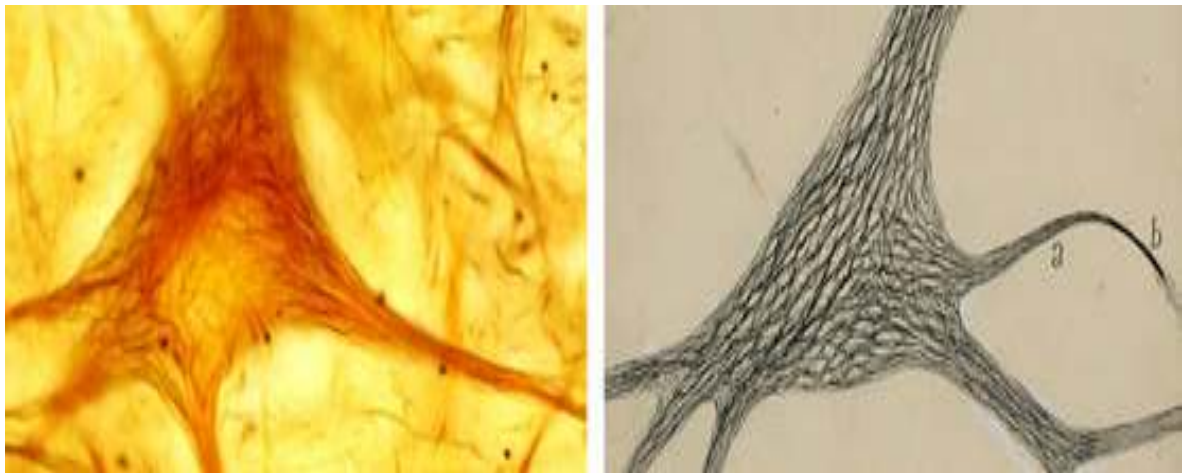


Fig. 91. Neurofibrillas en el citoplasma de una neurona (101).

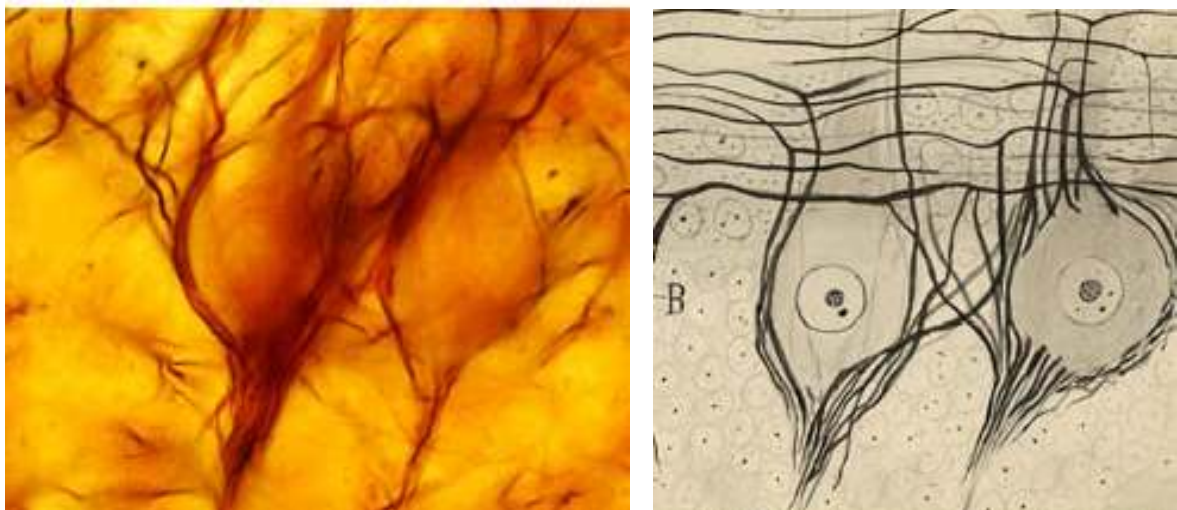


Fig. 92. Células de Purkinje y dendritas de las células en cesta del cerebelo (102).

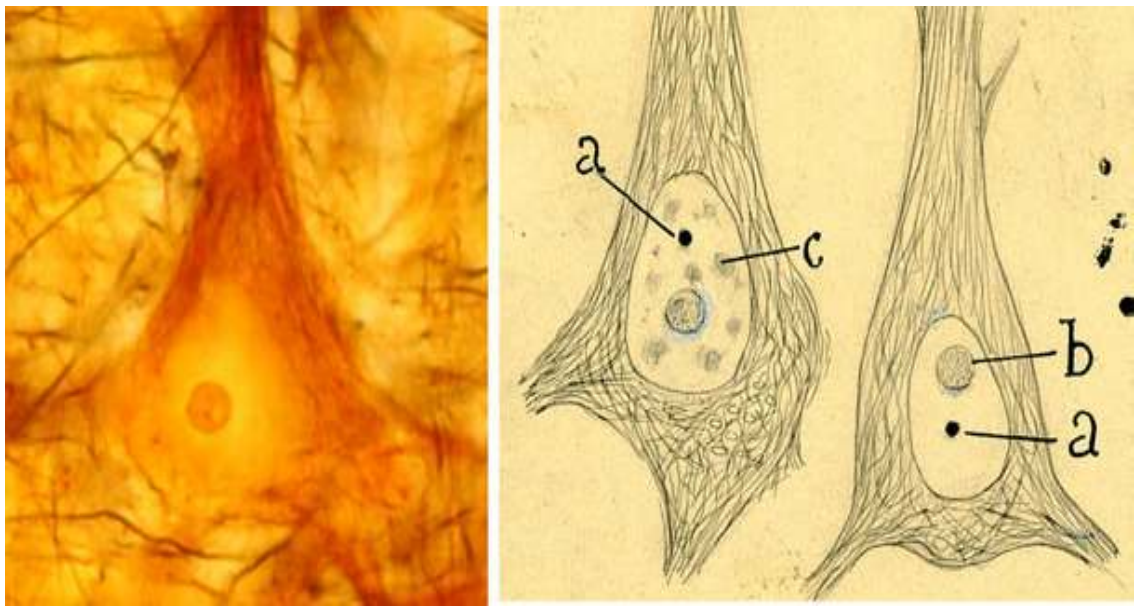


Fig. 93. Célula piramidal de la corteza cerebral (101).

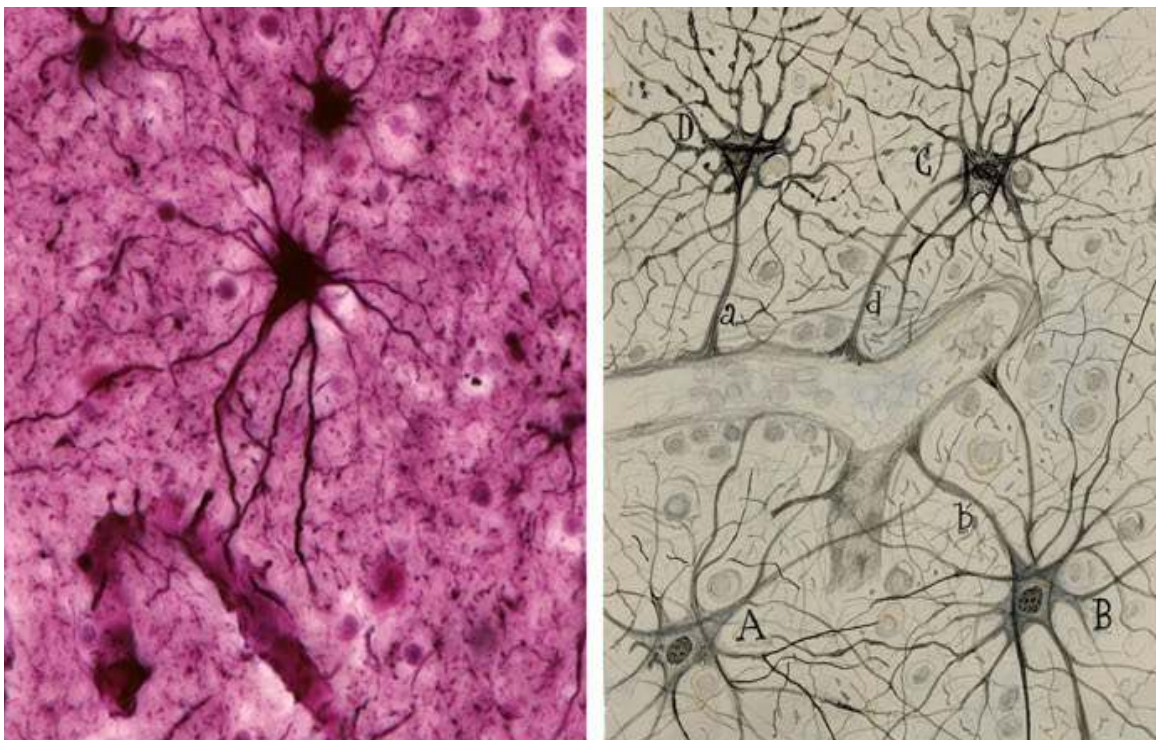


Fig. 94. Astrocitos fibrosos de la sustancia blanca (101).



Fig. 95. Células ganglionares (101)

* Los dibujos y fotografías que se presentan en este apartado dedicado a “Resultados”, son copia de los publicados en artículos, libros y páginas de Internet citados en la sección “Bibliografía” de la presente tesis, y de modo esencial, de los presentes en el libro “Histología del Sistema Nervioso del Hombre y de los Vertebrados” (5, 102, 103).



COMENTARIOS

El análisis de la información encontrada en la bibliografía, sobre la evolución histórica de las relaciones ciencia y arte, la evolución de las técnicas artísticas, y la evolución del procedimiento creativo, constituyen la base de la que hemos partido, para abordar el estudio artístico de los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal. A ello hemos de sumar nuestra formación artística, adquirida mediante los estudios de licenciatura en Bellas Artes, así como nuestra formación científica en Histología y en Organografía microscópica del sistema nervioso. Todo ello constituye, en esencia, el bagaje de conocimiento y formación que, a la luz del análisis de los resultados expuestos, ha hecho posible el desarrollo de los comentarios que presentamos en este apartado.

La literatura consultada nos permite afirmar que, en la presente tesis doctoral se aborda, por primera vez, el estudio de los dibujos histológicos realizados por Cajal, desde una perspectiva eminentemente artística y con la intención de establecer las posibles relaciones entre arte y ciencia en su enorme producción.

Nuestro primer comentario sobre los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal, se refiere a que todos y cada uno de estos extraordinarios dibujos, se corresponden con magníficas representaciones, absolutamente fieles, de lo que es posible observar al microscopio, siempre a partir de preparaciones técnicamente excelentes. Cajal fue capaz de obtener información directa de las imágenes que observaba el microscopio, transformándola en dibujos maravillosos, resultado de una genial labor de observación, síntesis e interpretación, unida a unas inmejorables cualidades artísticas, que supusieron la creación de impresionantes ilustraciones para sus trabajos científicos (6, 102, 103).

Estos dibujos no escaparon a la crítica científica de su tiempo, debido a que hubo quien consideró que eran el resultado de cierto nivel de irrealidad, indicando que se trataba de composiciones, realizadas por reagrupación artificial de lo observado en diferentes preparaciones histológicas. Hoy, mediante el estudio de aquellos preparados histológicos y de otros realizados actualmente, podemos decir que la conjunción de síntesis y realidad en estos dibujos, no están necesariamente reñidas. Cajal fue capaz de recoger en cada dibujo lo esencial, como muestra de una importante labor de síntesis de lo observado, como si se tratase del resumen, en un solo dibujo, de lo encontrado sobre un determinado aspecto. Ramón y Cajal fue capaz de representar directamente, sobre papel, a mano alzada, la mayoría de sus observaciones. Los que compartieron con él el laboratorio así lo han atestiguado (10), y él mismo lo ha hecho constar en sus memorias (7).

Sin embargo, es necesario indicar que utilizando el microscopio, las preparaciones y las técnicas de las que él se valió, se precisaría, incluso actualmente, de unas cualidades y meticulosidad en la observación, que permitiesen eliminar dificultades tales como la imposible visión enfocada de una neurona completa, en todo su espesor. Probablemente, esto fue posible mediante una tremenda labor de práctica y paciencia en el enfoque microscópico, o por

aplicación circunstancial, al microscopio, de una cámara oscura, que sabemos conocía y utilizó con diferentes fines fotográficos (9). Hoy este problema se ha resuelto mediante el uso de la microscopía confocal y el tratamiento de imagen, que nos permiten la observación virtual, en tres dimensiones, en el espacio, e incluso en movimiento (89, 132, 133). Todas las técnicas actuales permiten confirmar lo observado descrito y dibujado por Santiago Ramón y Cajal.

1. Características generales de los dibujos de Cajal

Debido a que, mayoritariamente, estos dibujos fueron realizados en pequeño formato, para ser observados de cerca, como parte de la lectura científica de un trabajo de investigación, es fácil comprender que se trate de verdaderas miniaturas de gran realismo. Es destacable la soltura, fluidez y frescura del trazo, al abordar cada dibujo, así como el elevado nivel de los detalles representados, consecuencia de un profundo análisis de los elementos que conforman tanto lo observado como lo dibujado (53). Todo ello, confiere una sencillez exquisita a estos dibujos, que son muestra de precisión y delicadeza, a la vez que el reflejo de su especial destreza como dibujante (99, 112).

De acuerdo con lo indicado para las pinturas de Cajal por Martínez Murillo (2), en los dibujos histológicos, el tratamiento de la escala y del encuadre son dos aspectos esenciales. Es posible observar, en este sentido, un cierto grado de similitud con la obra de autores precedentes, en particular, en lo que se refiere a los primeros dibujos dedicados a la morfología y a la estructura de la neurona. Los dibujos están desprovistos de detalles superfluos o de intenciones perfeccionistas. Más bien se trata de procurar ser fiel a lo que el artista observa directamente en la naturaleza, buscando un alto grado de fidelidad hacia la observación objetiva. Esto no impidió que los autores científicos de esa época desarrollaran dibujos de gran detalle y calidad artística, tales como los realizados por Deiters, Golgi o por el propio Cajal. Cada uno de estos dibujos supone una auténtica clase magistral de naturalismo figurativo (1).

Por otra parte, salvo por los escasos dibujos de otros autores, aportados como antecedentes, en la sección “Resultados” de esta tesis, no se tiene constancia de representaciones precedentes de la realidad dibujada por Cajal, ya que se trata de una realidad que se revela ante sus ojos, por primera vez en la historia. Por lo tanto, no cabe duda de que se trata de auténticas creaciones originales.

Cajal se recrea en sus dibujos, haciendo arte de la ciencia. De acuerdo con lo indicado por De Castro (43), nuestro autor crea en sus dibujos histológicos un lenguaje plástico propio, haciendo un tratado simultáneo de ciencia y arte, que habría despertado en su momento el interés de los pintores abstractos. Este científico, discípulo de Cajal, indicó textualmente “Estoy convencido de que si alguna vez se hiciera una exposición de los dibujos histológicos de Cajal, producirían pasmo entre los artistas y aficionados a la pintura y al grafismo de nuestro tiempo” El paso de los años ha dado la razón a De Castro. Así, en el año 2006, tuvo lugar una exitosa exposición titulada “Paisajes neuronales: Homenaje a Santiago Ramón y Cajal”, en la que se mostró una selección de sus dibujos, junto a un total de cincuenta imágenes realizadas con técnicas de vanguardia, por prestigiosos científicos, elegidas de entre más de 430 figuras captadas por un total

de 62 laboratorios neurocientíficos de todo el mundo. Esta exposición tuvo lugar en la galería “Instituto Cervantes”, en Nueva York, producida por CosmoCaixa. En palabras del Comisario de la muestra “Se trata de imágenes llenas de color y formas sorprendentes, que recuerdan a obras de arte salidas de la mente de pintores como Pierre-Auguste Renoir o Joan Miró” (134).

Por otra parte, se ha hecho referencia a la similitud en el trazo, el uso del color, y la temática naturalista, entre los dibujos de Cajal y ciertos trabajos de la escuela Rimpa japonesa. Se ha de considerar que en la Exposición Universal de 1884, en París, se produjo un gran inicio y lanzamiento del denominado “Japonismo” (135). De modo que, desde esa época y durante una amplia etapa posterior, tuvo lugar un proceso de coincidencia creativo en España, en la producción de cierto tipo de arte relacionado con ese “movimiento japonista”, tal como cerámicas, arte en cristal, dibujos en papel, etc., lo cual nos lleva a considerar un cierto nivel de coincidencia, en lo que respecta a la concepción naturalista y realista de la temática y del estilo de las obras del movimiento Rimpa, con la concepción, la temática y el estilo de los dibujos de Ramón y Cajal.

Del mismo modo, es posible considerar la existencia de cierto paralelismo entre los dibujos histológicos de Cajal y el trazo del dibujo modernista, así como ciertas similitudes entre el movimiento expresionista americano y ciertos dibujos de Cajal, en cuanto al modo del uso de manchas y líneas entrecruzadas y superpuestas (P65).

2. Las formas. Líneas y manchas. Composición

Cajal concede importancia esencial a la línea de color oscuro en sus dibujos, para enfatizar y resaltar los perfiles o parte de las estructuras representadas (ramificaciones sinuosas, contornos o formas interiores), de tal modo que la línea adquiere casi un valor fisionómico (1).

La economía en el uso de líneas para la representación de los objetos, nos hablan de una gran habilidad técnica. Se observa una gran simplicidad de líneas. Sus dibujos se presentan como algo fundamentalmente natural, pleno de frescura y soltura. Como algo perfectamente controlado, sin que quede nada al azar, pero también provisto de una importante dosis de dinamismo, espontaneidad y libertad creadora. Con frecuencia se trata de líneas realizadas con un solo trazo o con pocos de ellos. A pesar del pequeño formato de sus dibujos, Cajal utiliza la modulación de la línea de perfil, para crear volúmenes, tal y como lo requiere la técnica de la pintura mural (53). Estas mismas técnicas, las aplicó al realizar dibujos de gran formato, como material de apoyo a la docencia (2).

Las formas se destacan sobre el fondo por estar realizadas como manchas negras provistas de morfología propia, que permiten identificar cada tipo de estructura. En otros casos, las formas aparecen rellenas de una serie de líneas ondulantes trazadas sin orden, con la intención de representar un material heterogéneo, confiriéndole al dibujo un cierto grado de complejidad interna.

El estudio cuidadoso de los dibujos histológicos de Cajal, proporciona una sensación de armonía, consecuencia de un riguroso cuidado compositivo, coherente

con el equilibrio armónico y riguroso que muestra la naturaleza en este ámbito. Parte esencial de la labor de Cajal se basa en saber diferenciar lo importante de lo accesorio, llevándole a diferenciar y destacar, dentro del espacio compositivo, los elementos principales de los secundarios, mediante un estudio cuidadoso de sus cualidades formales, estéticas y, como no, de las relaciones estructura-función. Los elementos representados, aparecen como cumpliendo normas y principios naturales dictados por su importancia jerárquica.

3. Luz. Volumen. Color

De modo general, los dibujos de Santiago Ramón y Cajal presentan una luz de carácter uniforme, como corresponde a lo que se observa al microscopio de luz transmitida. Las estructuras destacan sobre un fondo claro, que puede ser homogéneo, de diferentes tonos de color uniforme, o estar ocupado por numerosas líneas o formas circulares de pequeño tamaño, que representan prolongaciones celulares o núcleos de células situadas en planos inferiores. La profundidad de campo microscópica y los distintos planos de foco, permiten que el observador pueda ver, por planos, cosas diferentes. Las suaves aguadas grises o tostadas, casi uniformes, aplicadas por Cajal, permiten distinguir diferentes planos en sus dibujos, de modo que, los colores de las aguadas sirven de fondo sobre el que destacan las intensas líneas negras de cada plano. La intensidad de gris o de color tabaco o sepia de cada aguada, supone la creación de un plano diferente.

Al no existir luces laterales, las formas aparecen planas al microscopio y carentes de volumen. En aquellos casos en los que se busca proporcionar volumen a las estructuras, es utilizado un estudio de luces y sombras que confieren, a los elementos representados, un discreto volumen. En este sentido, existen diferencias claras en cuanto al tipo de volumen conseguido y a conseguir, en función del material empleado para dibujar, y en función de la aplicación o no de color. Cajal se encuentra condicionado por normas tácitas, impuestas por el nivel de resolución y las características de la imagen que observa al microscópico.

Como se puede comprobar en los dibujos, el volumen es conseguido mediante pequeños y cortos trazos (líneas delgadas de grosor variable), dispuestas en distintas direcciones, o aplicando aguada suave en la periferia de las estructuras. Un incremento en el número de líneas, o la mezcla de distintos tipos de líneas, situadas en las “zonas de sombra”, definen la aparición de cierto volumen. Del mismo modo, algunas estructuras interiores a otras, como es el caso de los núcleos celulares, adquieren una leve sensación de volumen, como consecuencia de un fino punteado, de grosor variable, dibujado en su interior.

Todo ello, permite ver representados los objetos en profundidad, de modo que cada uno de ellos ocupa una posición relativa, característica, con respecto a los demás en el dibujo. En muchos de ellos, se presenta uno o varios objetos en primer plano, como elementos dominantes, respecto de otros que aparecen dibujados en planos inferiores. Esto se convierte en un mecanismo que permite conseguir la creación, en el plano del papel, de un espacio tridimensional, en el que los elementos presentan una actitud dinámica. Por lo tanto, comprobamos que se consigue una composición elaborada y absolutamente pensada, de modo que

ningún elemento aparece como colocado al azar, sino que lo están según el orden y jerarquía que le corresponde, dentro del espacio creado.

Ninguno de los dibujos aparece delimitado, en su espacio creativo, por una línea o marco que lo acote, lo cual contrasta con los dibujos realizados por los primeros microscopistas. Estos dotaban a sus dibujos de una línea circular marginal, representativa del límite del campo de visión que permiten las lentes del microscopio (69).

Todo lo anterior nos permite decir que Cajal poseía una magnífica capacidad de visión tridimensional, la cual le permitió identificar los campos microscópicos más adecuados, a la hora de plasmar la realidad, haciendo una interpretación gráfica del volumen, adecuada a la realidad que observaba.

Los volúmenes representados en sus dibujos histológicos, son verdaderas interpretaciones de lo observado. Se desarrolla una labor de interpretación tridimensional, de lo observado en el campo microscópico, dotando a estos dibujos de un sentido espacial, dejando así constancia de unas incomparables dotes artísticas de observación y de interpretación de la realidad.

En todo caso, luz, volumen y profundidad, son propiedades compositivas de estos dibujos histológicos, como parte de las características del realismo de la escena representada. La rigurosidad y fidelidad hacia lo que se está viendo, le llevaron a tratar de representar lo que observaba, de la manera más exacta posible, el esfuerzo por reproducir con fidelidad las formas, los colores y las texturas, hacen que estos dibujos aparezcan como representaciones de fragmentos de realidad microscópica.

En lo que respecta al color, la mayoría de los dibujos histológicos de Cajal son de carácter monocromático, como consecuencia de las técnicas de tinción utilizadas (“Reacción negra”). Por lo general, se trata de dibujos de contorno negro con una escasa gama de grises. En los casos en los que se incluye color, este suele ser fiel al del colorante del compuesto o compuestos químicos empleados en el laboratorio, o al resultante de su afinidad química por la estructura que tiñen (basofilia, acidofilia, neutrofilia, heterofilia o metacromatismo). De modo que se representan, o mejor, se transcriben, colores y sus tonos, de acuerdo con lo estrictamente observable.

Muchos de los dibujos histológicos de Cajal están realizados sobre un color de base de tonalidad parda. Por lo general se trata de una gama cromática muy limitada, con predominio de colores secundarios. Como decimos, en algunos dibujos se utiliza como fondo un delicado tono marrón tabaco, que cuando es muy débil, permite realzar las formas dibujadas, en este mismo tono, pero con mayor intensidad de color. Este tono de color es altamente similar al que produce la luz, de media o baja intensidad, al ser recogida sobre el espejo de un microscopio de aquella época; sin olvidar que el tono del papel de soporte, se ha oscurecido con el paso del tiempo.

Como ya se ha indicado, la combinación de negro y gris y de marrón sepia, de diferente tono, producen la sensación de estar contemplando un dibujo oriental

sobre delicado papel de seda o tela de seda. Los dibujos de Cajal, también se distinguen por la facilidad con que se superan las limitaciones del material casi monocromático, con el que trabaja. Algunos de sus dibujos, sólo representan contornos de células o fibras. En las artes orientales, se encuentran ejemplos de la fuerza que posee la línea en su estado más puro, incluso desprovista de color (132, 135). Esta, permite representar con gran belleza los detalles más minuciosos. En contraste, los dibujos occidentales conceden mayor importancia a los tonos de color y a las gradaciones de intensidad (13, 63). Las gradaciones monocromáticas del dibujo, permiten sugerir e intuir diferentes colores por medio del blanco y negro (53).

El color de fondo de los dibujos histológicos de Cajal, a veces se corresponde con el color del soporte utilizado, sobre todo en el caso de las láminas de gran formato, de modo semejante a como hacían los grandes maestros y se hace en las Academias y Facultades de Bellas Artes, en las que frecuentemente se utiliza, además de papel blanco, papel continuo con color de fondo marrón, azul, ocre o gris (1).

4. La temática

En las obras de intención artística de Cajal “Se encuentra ligado lo real a lo bello en todas y cada una de sus manifestaciones, ya sean paisajes, escenas callejeras, retratos, etc.” (2). Consideramos que en el caso de sus dibujos histológicos, ocurre algo semejante. Como hemos podido comprobar, a pesar de que el objeto científico de los estos dibujos es, de modo general, la estructura microscópica del tejido nervioso, dentro de este campo son muchos los apartados abordados, los objetivos propuestos, las hipótesis planteadas y las cuestiones formuladas. Se va desde las partes (la morfología externa de la célula nerviosa, o de las células gliales, y su estructura interna) al todo (la estructura de los centros nerviosos), sin olvidar otros aspectos esenciales tales como los funcionales, los evolutivos o los de ontogénesis (6, 102, 103).

Será en las observaciones del sistema nervioso, donde Cajal encuentre la verdadera belleza que ofrece la naturaleza. Las formas abstractas que le muestra el microscopio, le permiten desarrollarse definitivamente como artista (7).

Nuestro científico expresó lo que observaba del natural a través de la figuración, tal y como lo hicieron muchos de los artistas de su época (1). En la actualidad, la observación simultánea de los dibujos y sus preparaciones histológicas, permite comprobar la gran fidelidad de reproducción gráfica de la morfología de aquello que fue observado por el científico al microscopio. Este se enfrentó a los escenarios naturales que le brindaba el microscopio, con la intención de representar aquello que tenía ante él, del modo más fiel posible. Dibujó el sistema nervioso con una visión absolutamente naturalista, como si se encontrase frente a la vegetación de un paisaje, se trata de lo que el denominó “*El jardín de la Neurología*” Las imágenes que observaba al microscopio eran, de acuerdo con sus propias palabras, “*espectáculos cautivadores y emociones artísticas incomparables*” Se recreó en cada una de las visiones que le ofrecía el microscopio, trasladando al papel sus observaciones. En el caso de los dibujos para docencia, contó con la ayuda técnica del pintor R. Padró, tal y como consta en la firma de las escasas

obras de este tipo que se conservan (véase la parte inferior del dibujo de la portada de la presente tesis) (1).

Santiago Ramón y Cajal consiguió transmitir en sus dibujos belleza, además de información sobre la realidad, tal y como ocurre en las obras de los artistas clásicos, salvo porque, en su caso, la realidad no es directamente asequible, ya que exige de la microscopía para acceder a ella. Como sabemos, Cajal fue un gran admirador del arte clásico y sentía gran admiración hacia las obras de los grandes maestros, tal y como el mismo nos indicó (3, 136, 137).

Por otra parte, inmerso en el más puro naturalismo, observó cómo el modernismo y los nuevos movimientos artísticos venían a imponer sus reglas. Así, observó cómo el impresionismo proponía nuevos planteamientos plásticos, cómo el cubismo rompía los parámetros establecidos o cómo el fovismo propugnaba formas distintas en cuanto a la concepción y uso del color (1, P65). En este sentido, hemos de considerar que, obligado por la necesaria fidelidad a la observación científica, se hubo de mantener imperturbable frente a estos cambios.

5. El procedimiento artístico

Dibujar un objeto del natural, va más allá de la mera observación, se trata de un proceso complejo que consta de varias actividades consecutivas, o acaso simultáneas, tales como mirar, ver u observar, analizar, sintetizar y, finalmente, representar el objeto. Mirar es tan sólo la obtención de información visual del mundo exterior (42). Ver u observar es obtener una representación interna del mundo exterior, supone la creación de una especie de modelo de la realidad, se trata de un proceso creativo, construido por el cerebro, en el que interviene la experiencia sensorial de toda la vida del observador, de modo que el artista crea el modelo que puede analizar y sintetizar, para su representación a través de formas, volúmenes, colores, luces, etc. (35). Consideramos esencial el tener en cuenta todo esto, como paso previo a la plena comprensión de la labor que Cajal desarrolló, en su doble papel de científico y de dibujante. Recordemos que Santiago Ramón y Cajal reúne dos condiciones nada habituales, ser un científico excepcional y ser un experimentado dibujante (13).

Efectivamente, Cajal posee una habilidad magistral para trasladar las imágenes al papel, con una fidelidad sorprendente. Cada uno de sus dibujos es un derroche de capacidad de síntesis en la que se funden sus observaciones, sus reflexiones y sus pensamientos (137, P14). “No basta examinar, hay que contemplar, impregnémonos de emoción y simpatía por las cosas observadas; hagámoslas nuestras tanto por el corazón como por la inteligencia. Solo así nos entregarán su secreto; porque el entusiasmo acrecienta y afina nuestra capacidad perceptiva y quien contempla amorosamente un objeto acaba por discernir en él detalles interesantes y propiedades peregrinas escapadas a la atención distraída de los investigadores rutinarios” (137). Tal y como indica Martínez Murillo en su tesis doctoral (2), Sherrington en el prólogo de la biografía de Cajal de Dorothy Cannon escribe “Un rasgo muy notable en él, era que al describir lo que veía por el microscopio, hablaba ordinariamente de ello como si fueran escenas vivas...” Es importante destacar que Cajal fue capaz de tener la sensación de observar una realidad activa, en movimiento, a pesar de que sus observaciones correspondían a

imágenes fijas y estáticas. Ello le permitió producir importantes hipótesis como la referida a la “Polarización dinámica de la neurona” (28). Es decir, Cajal no se limitaba a ver y transcribir, sino que, además, observaba, reflexionaba e interpretaba lo observado.

6. El lenguaje iconográfico

La gran mayoría de los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal fueron concebidos como recurso creativo para proporcionar validez y comprensión al contenido del texto científico. Por lo tanto, son auténticas ilustraciones. En el caso de dibujos con función docente, estos son creados como medio de apoyo a la explicación del contenido. En sus “Reglas y consejos sobre investigación científica”, instruye a los futuros investigadores sobre la importancia de representar sus hallazgos mediante dibujos (137).

Con motivo del objetivo ilustrativo o docente de estos dibujos, no escatimó en el uso de elementos iconográficos que acompañan al dibujo, o mejor dicho, que forman parte de él. Es el caso de las letras (minúsculas o mayúsculas, en función de la jerarquía de la información), lo es igualmente la inclusión de números para indicar orden o jerarquía, o de flechas, para expresar dirección o sentido del movimiento, cuando se trata de representar actividad funcional.

En ninguno de los dibujos se incluye información sobre el aumento microscópico al que se ha realizado el estudio, probablemente debido a que la necesidad descriptiva de lo observado nos remite mayoritariamente a los aumentos más bajos, o porque se encuentre referencia de ello en el texto escrito. Tampoco se encuentra escala o gradación que nos permita establecer la relación de tamaño entre las estructuras, o de ellas con la realidad macroscópica.

En algunos casos, se encuentran anotaciones hechas con lápiz y a mano en el espacio vacío, superficie en blanco, junto al dibujo.

Merece atención y comentario la inclusión del sello del Instituto Cajal en los dibujos, el cual ha sido eliminado en las recientes reimpresiones, durante el proceso de escaneado, tratamiento de texto e impresión (5, 102, 103).

* * *

En definitiva, esperamos haber sido capaces de informar adecuadamente sobre la importancia y enorme calidad artística que poseen los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal. Estos son, sin duda, exponente y parte esencial de su capacidad de observación, de estudio, de interpretación y de expresión. Estas cualidades, le sirvieron como medio para el desarrollo de una obra de gran riqueza, tanto para el arte como para la ciencia. La perfecta conjunción y armonía entre arte y ciencia presente en su obra, como medios para proyectar su afán de conocimiento, le impulsaron a conseguir un lugar de honor entre las figuras más brillantes de nuestra historia y de la historia del mundo.



CONCLUSIONES

1. El estudio de la bibliografía consultada, sobre la evolución histórica de las relaciones entre arte y ciencia, nos permite concluir que la ilustración científica constituye una herramienta fundamental en el desarrollo de la Biología, y en particular en el de las investigaciones microscópicas, herramienta que ha permitido la proyección de las cualidades artísticas de los científicos que la han utilizado.
2. El dominio de las técnicas histológicas, fotográficas y del dibujo, proporcionaron a Santiago Ramón y Cajal los medios necesarios para la creación de sus universalmente reconocidas aportaciones en el campo de la histología del sistema nervioso. Parte importante de estas aportaciones, nos llegan en forma de imagen gráfica, a través de sus dibujos histológicos, que son el resultado conjunto de una incomparable vocación artística y un inigualable espíritu investigador.
3. Los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal constituyen documentos de gran atractivo pictórico, que nos informan sobre la sensibilidad artística y sentido de la estética de su autor, a la vez que reflejan su capacidad de fidelidad para la transmisión de sus observaciones microscópicas.
4. El gran talento de Santiago Ramón y Cajal le permitió crear un modelo espacial de las relaciones estructura-función del sistema nervioso, que fue trasladado al papel, en sus exquisitos dibujos, mediante un riguroso y metódico procedimiento de trabajo, basado en la siguiente secuencia: visualización, observación, análisis, síntesis, y representación.
5. Los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal son un modelo de representación ilustrativa, provista de las cualidades y características de la imagen impresa de su tiempo. Se caracterizan por su sencillez, delicadeza, espontaneidad, precisión y soltura, y están provistos de iconos que actúan como nexo entre palabra escrita y diseño, para el apoyo descriptivo de la información científica que aportan.
6. Los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal constituyen magníficas obras, representativas del arte figurativo de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, cargadas de naturalismo romántico en cuanto a lo fugaz y sublime de la naturaleza, contemplada a través del microscopio, el cual permitió a Cajal la observación sin límite de elementos, proporciones, composición, volumen, color, etc. específicos e intrínsecos a las propiedades naturales de las células, el tejido y los órganos del sistema nervioso.
7. Los dibujos histológicos realizados por Santiago Ramón y Cajal son un valioso e insustituible medio de expresión artística y de información científica, que constituyen la base de partida de la neurociencia moderna.
8. La obra artística de Cajal se ve proyectada constantemente hacia el futuro, a través del arte actual. El proyecto de labor expositiva que aportamos se presenta como un exponente de dicha proyección hacia el futuro, a la vez que como un nexo con el pasado inmediato y con el presente.

En este apartado relacionado con las fuentes directas de información, a las que hemos recurrido para la realización de la presente tesis doctoral, se presentan fotografías realizadas durante una de nuestras visitas al Instituto Cajal, para la observación y estudio directo de los dibujos histológicos realizados por Santiago Ramón y Cajal. Este anexo consta de dos apartados diferentes, el primero recoge fotografías relativas a material vario perteneciente al legado Cajal, mientras que el segundo presenta exclusivamente fotografías de los dibujos y las preparaciones histológicas de Santiago Ramón y Cajal. Todas las imágenes fueron tomadas “in situ” con permiso del Dr. Juan Andrés de Carlos, Director Científico y Responsable del Legado Cajal del Instituto Cajal de Madrid.

1. FOTOGRAFÍAS SOBRE OBJETOS DEL LEGADO CAJAL. INSTITUTO CAJAL. MADRID.



**Carpeta con documentación acreditativa del Premio Nobel,
entregada a Santiago Ramón y Cajal.**



Despacho de Cajal mostrando sus objetos, protegido por una mampara de cristal.



José Meseguer junto al Dr. Juan Andrés de Carlos (Director Científico y Responsable del Legado Cajal) en el Instituto Cajal. Madrid.



**Portada de la primera edición impresa del libro de Cajal
“La fotografía de los colores bases científicas y reglas prácticas”**



**Serie de fotografías realizadas por Santiago Ramón y Cajal, enmarcadas y
expuestas en el Instituto Cajal.**



Detalle de dos de las fotografías de la imagen anterior.



Dependencia del Instituto Cajal mostrando óleos anatómicos de Cajal y microscopios, así como cajas en las que se conservan preparaciones histológicas y dibujos originales, realizados por Cajal.



Expositor abierto por el Dr. Juan Andrés de Carlos, mostrando algunos dibujos creativos de Cajal.



Detalle de los dibujos creativos de Cajal, mostrados en la fotografía anterior.

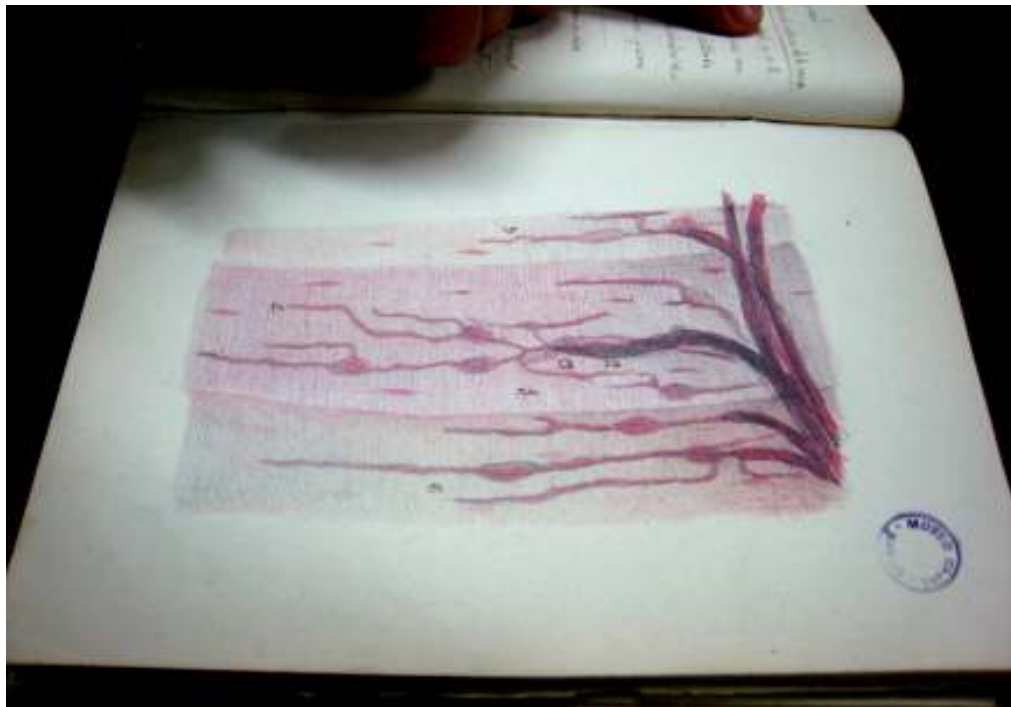


**Detalle de paisaje pintado por Cajal, presente en otro cajón del expositor.
Virgen de Casbas (Eyerbe).**

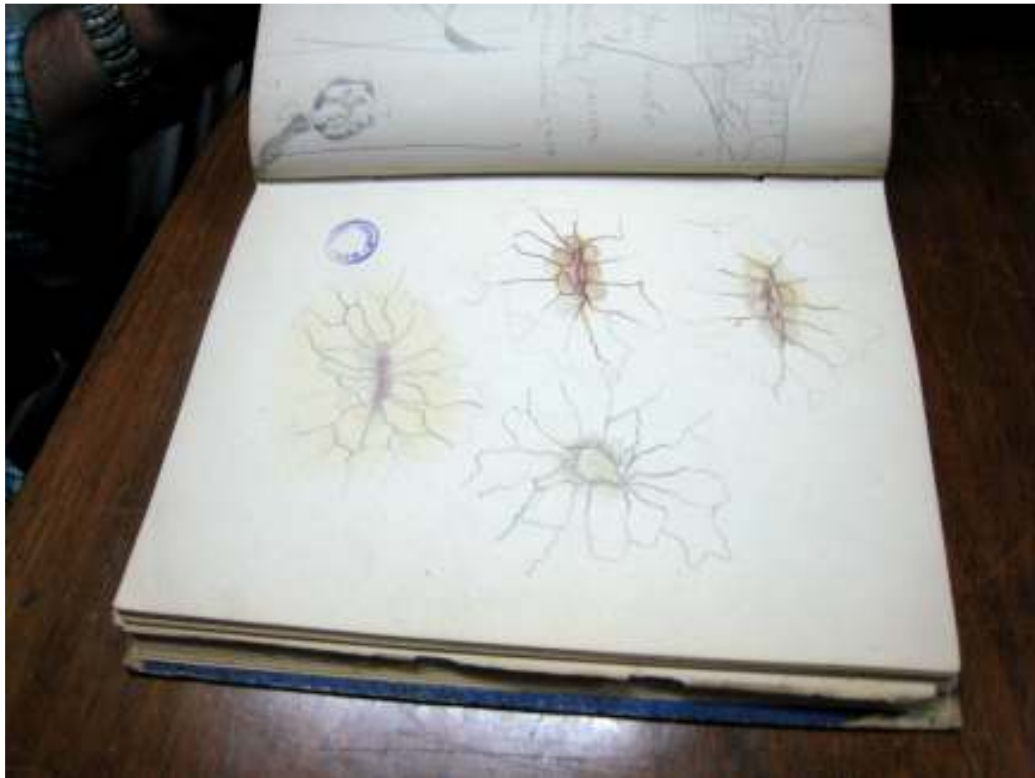
2. FOTOGRAFÍAS DE LOS DIBUJOS Y LAS PREPARACIONES HISTOLÓGICAS DE CAJAL.



Se muestra una de las libretas de Cajal en la que se puede observar uno de los dibujos histológicos, realizado con lápiz de color. Obsérvese el tamaño octavilla de las hojas de la libreta.



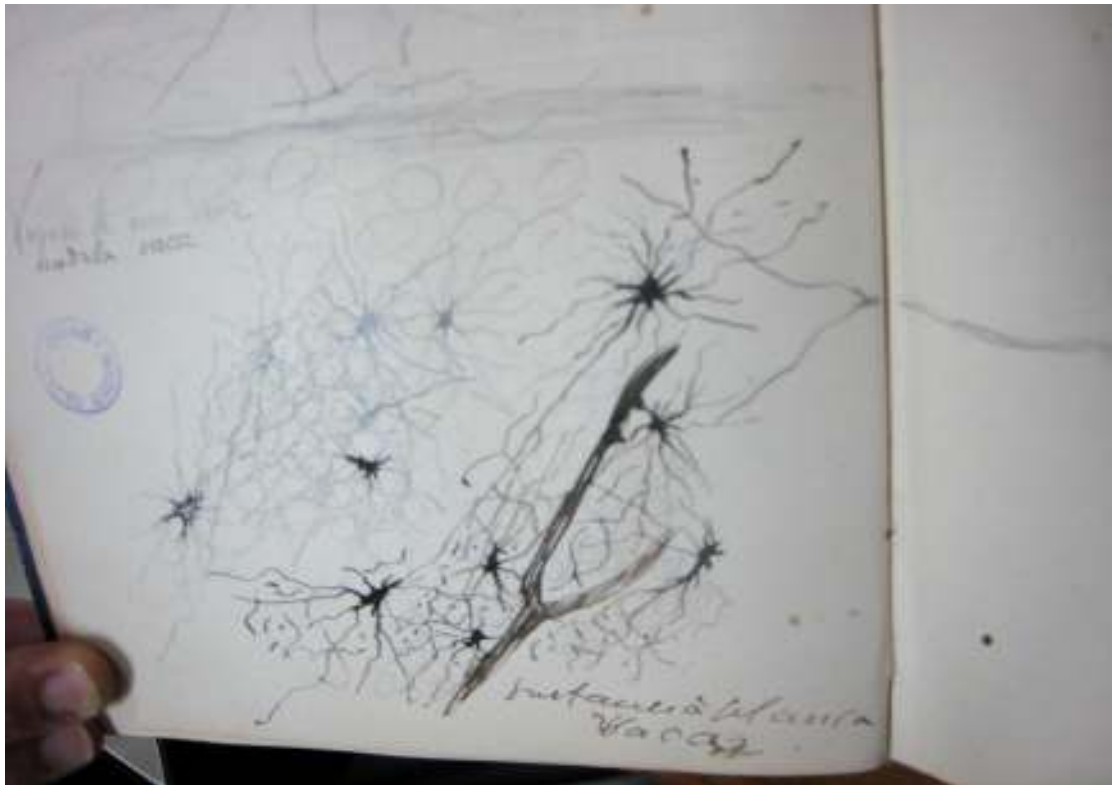
Detalle del dibujo anterior. Inervación del tejido muscular.



Detalle del cuaderno mostrando otro de los dibujos originales de Cajal.



Detalles de dibujos de otro cuaderno, realizados en ambas caras del papel.



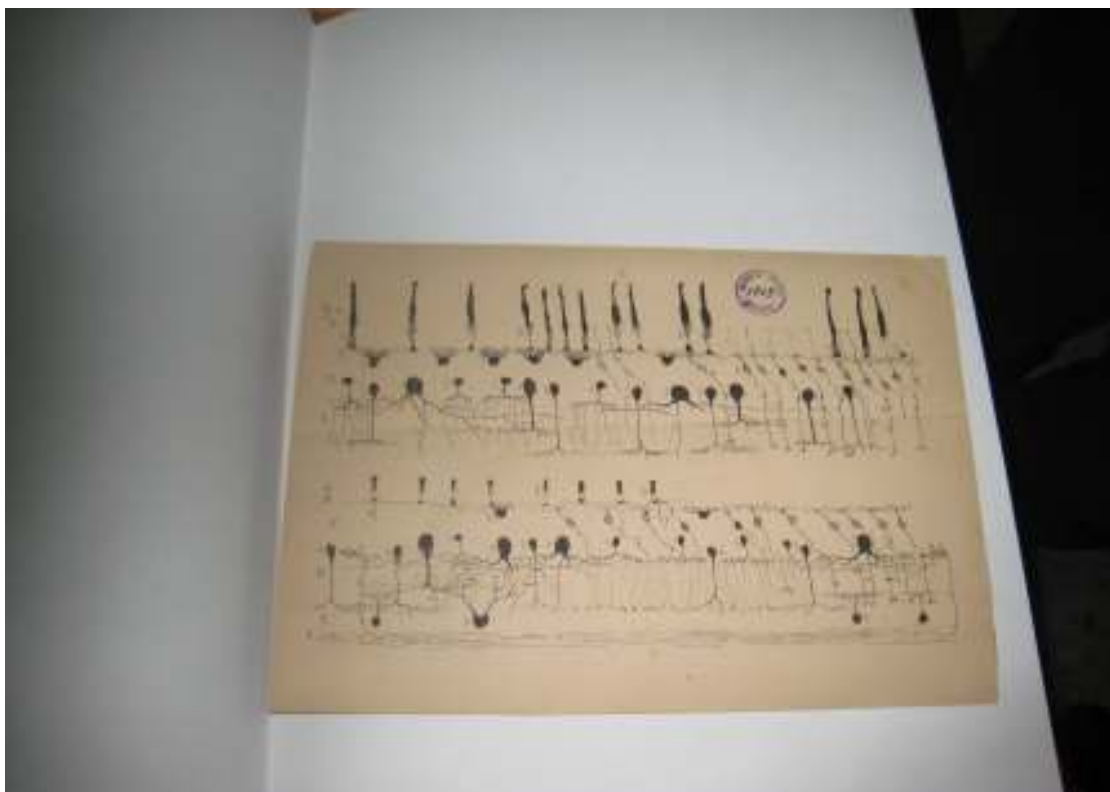
Dibujo de la sustancia blanca del cerebro de vaca, realizado con lápiz y tinta negra.



**Detalle de dibujos de fibras nerviosas mostrando los nodos de Ranvier.
Lápiz de color y tinta negra.**



El Dr. Juan Andrés de Carlos muestra una caja archivador con uno de los dibujos originales de Cajal.



Detalle del dibujo de la fotografía anterior. Capas de la retina.



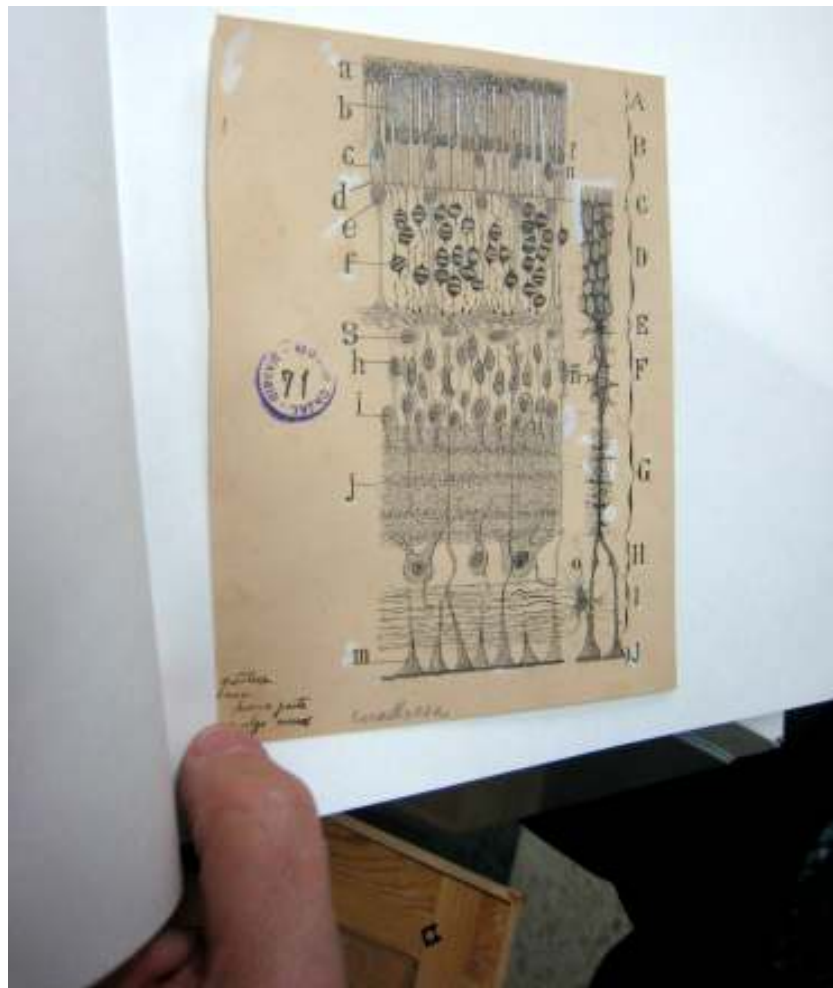
Dibujo de una neurona. Obsérvese el pequeño formato del dibujo.



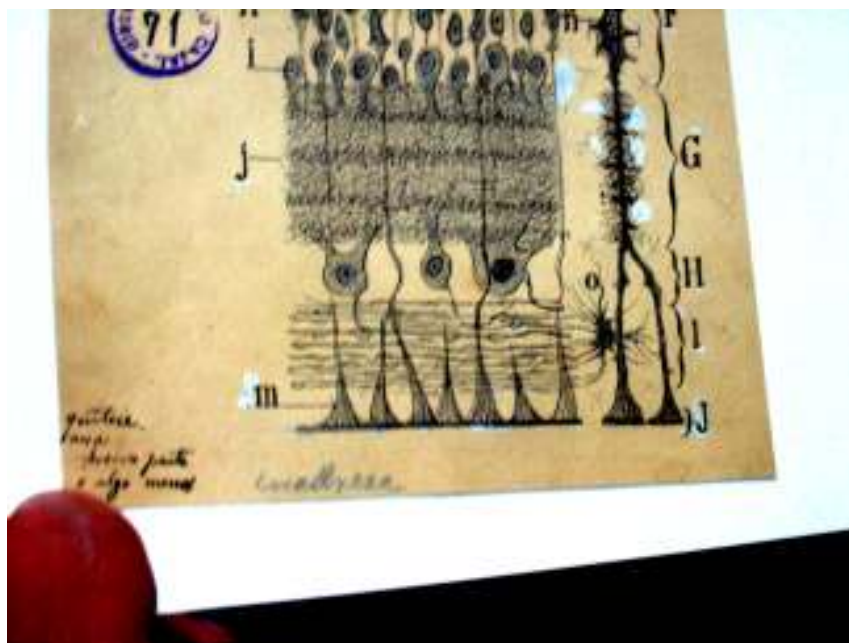
Dibujo realizado por Cajal, en formato mediano.



Detalle de dibujo realizado, con tinta negra y de color, y aguada de color ocre claro. Las anotaciones laterales hacen referencia a detalles de publicación.



Dibujo de la retina. Obsérvese la abundante iconografía.



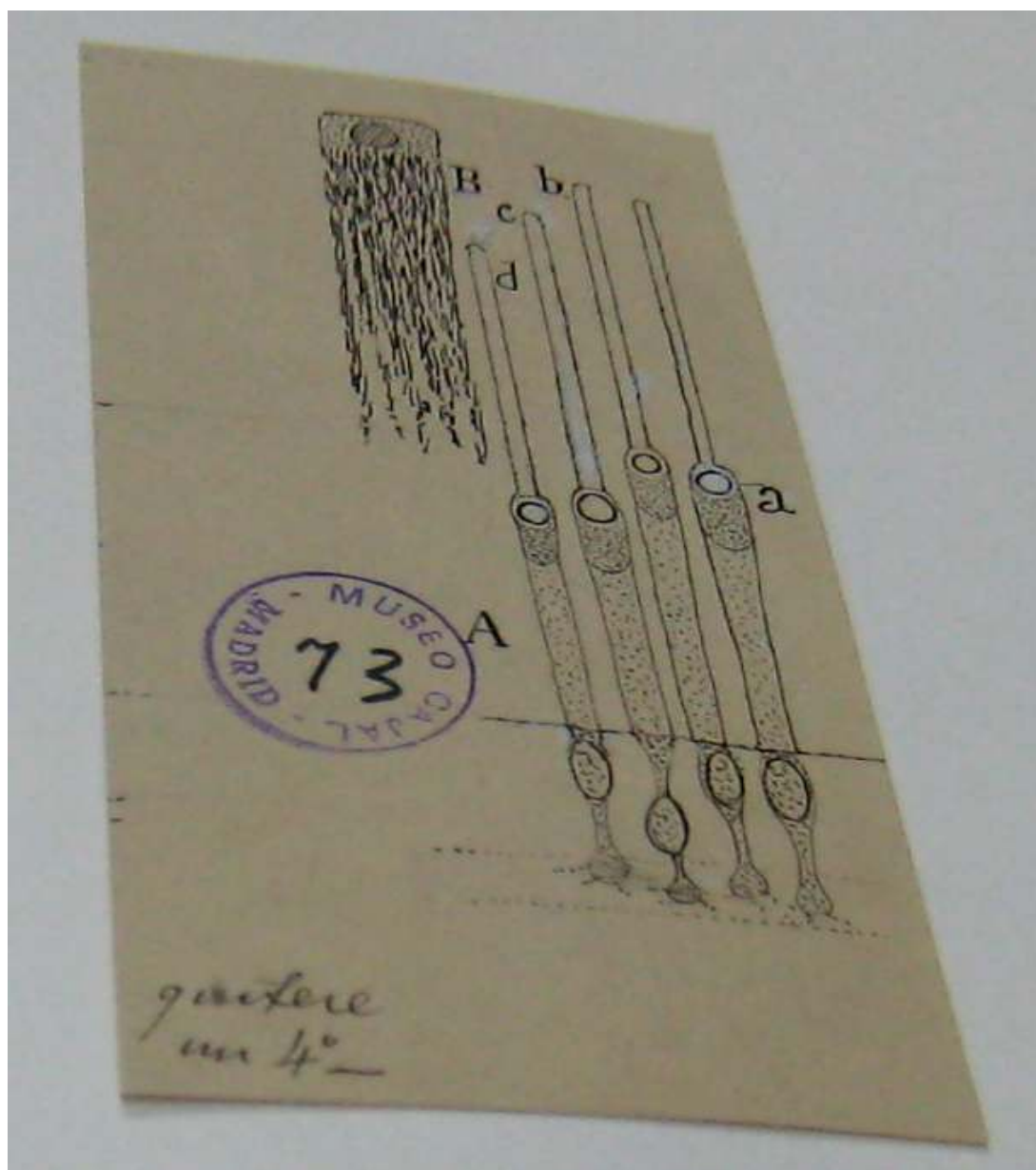
Detalle del dibujo anterior. Se ven correcciones realizadas con material blanco.



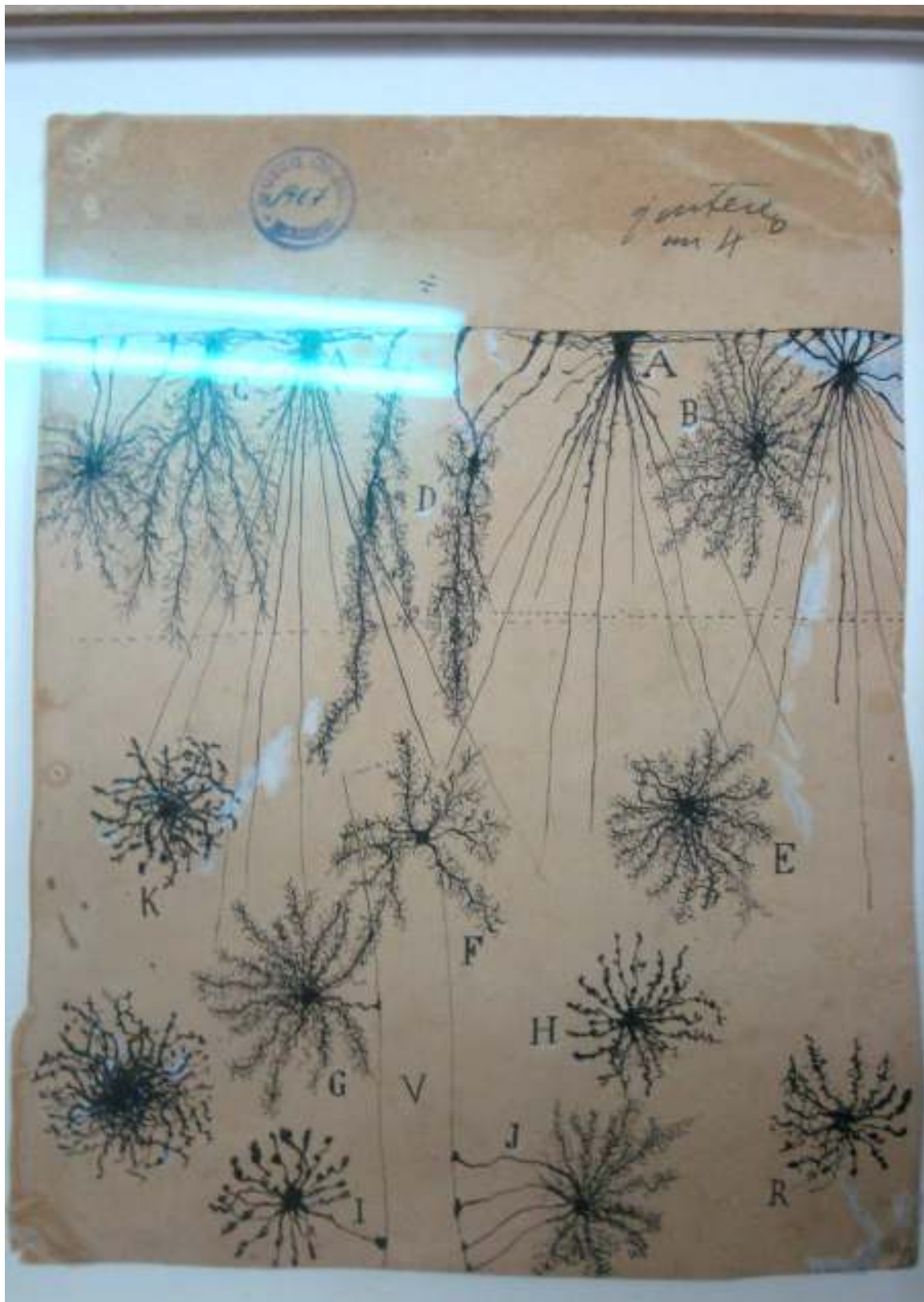
Dibujos sobre la retina, con diferente tamaño de soporte, recortados y unidos.



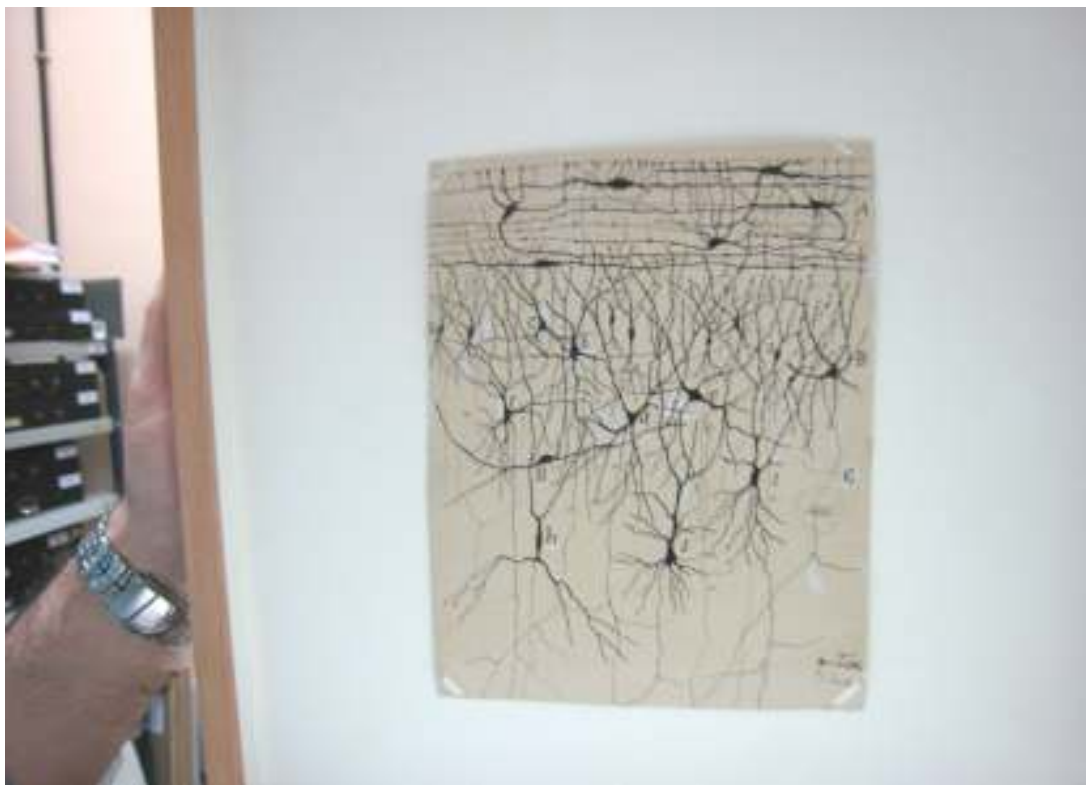
Dibujo de pequeño formato en el interior de uno de los archivadores.



Detalle de la fotografía anterior. Epitelio pigmentario y fotorreceptores.
La indicación “Quítese un cuarto” se refiere al tamaño deseado como definitivo
para su impresión.



Dibujo original enmarcado para exposición.
Obsérvese el sello del Museo indicando el número 1967, el cual nos remite al importante número de dibujos realizados.



Detalle de otros dos dibujos enmarcados para exposición.



Caja Fuerte en la que se guardan archivadores con dibujos y preparaciones histológicas originales de Cajal.



Bandeja mostrando algunas preparaciones histológicas realizadas por Cajal.



LABOR EXPOSITIVA

1. Título de la instalación

“Imágenes desde la Ciencia”

2. Introducción

Como parte y complemento de la presente tesis doctoral, se propone el proyecto de instalación de material, que con el título “Imágenes desde la Ciencia” pretende ser una muestra representativa de nuestro recorrido creativo en los campos de la investigación, la docencia y el arte durante los últimos cuarenta años.

Con “Imágenes desde la Ciencia”, tal y como se indica en el apartado “Conclusiones” de la presente tesis, pretendemos crear una proyección hacia el futuro, a la vez que un nexo con el presente y con el pasado inmediato, dentro de la relación Arte y Ciencia.

En “Imágenes desde la Ciencia” ofrecemos un conjunto de materiales desarrollados en la Universidad de Murcia, como resultado de nuestro trabajo de ilustración científica, al que se suma material de apoyo docente y obra pictórica personal.

3. Estructura

La presente muestra se ha estructurado en tres secciones diferentes que hemos denominado “Arte y Ciencia en el Laboratorio”, “Arte y Ciencia en el Aula” y “Hechos de Arte y Ciencia”

3. 1. “Arte y Ciencia en el Laboratorio”

Esta primera sección pretende establecer una conexión con el pasado inmediato, y mostrar la evolución de los materiales que hemos empleado, en nuestra práctica de la ilustración científica. Consta de una selección representativa de objetos, materiales y fotografías, generados desde el año 1973.

3. 2. “Arte y Ciencia en el Aula”

La segunda sección, se refiere al dibujo científico en su vertiente docente. En esta sección se presentan dibujos realizados en la sala de prácticas y en el aula de teoría, tanto en pequeño formato como en formato mural. Constituyen dos de los medios que utilizamos durante la docencia teórica y práctica de la Biología.

3. 3. “Hechos de Arte y Ciencia”

La tercera sección, recoge producción artística personal, creada con la intención de representar la conexión entre el presente y el futuro de la relación arte y ciencia. Hemos tomado como referente temático y formal elementos de la Citología e Histología del sistema nervioso.

4. Materiales

4. 1. Primera sección expositiva. “Arte y Ciencia en el Laboratorio”

La primera parte de la exposición se compone de los siguientes objetos:

- Microscopios ópticos y preparaciones microscópicas realizadas con técnicas de tinción y de impregnación metálica, similares a las utilizadas por Santiago Ramón y Cajal (Años 1973-1980).



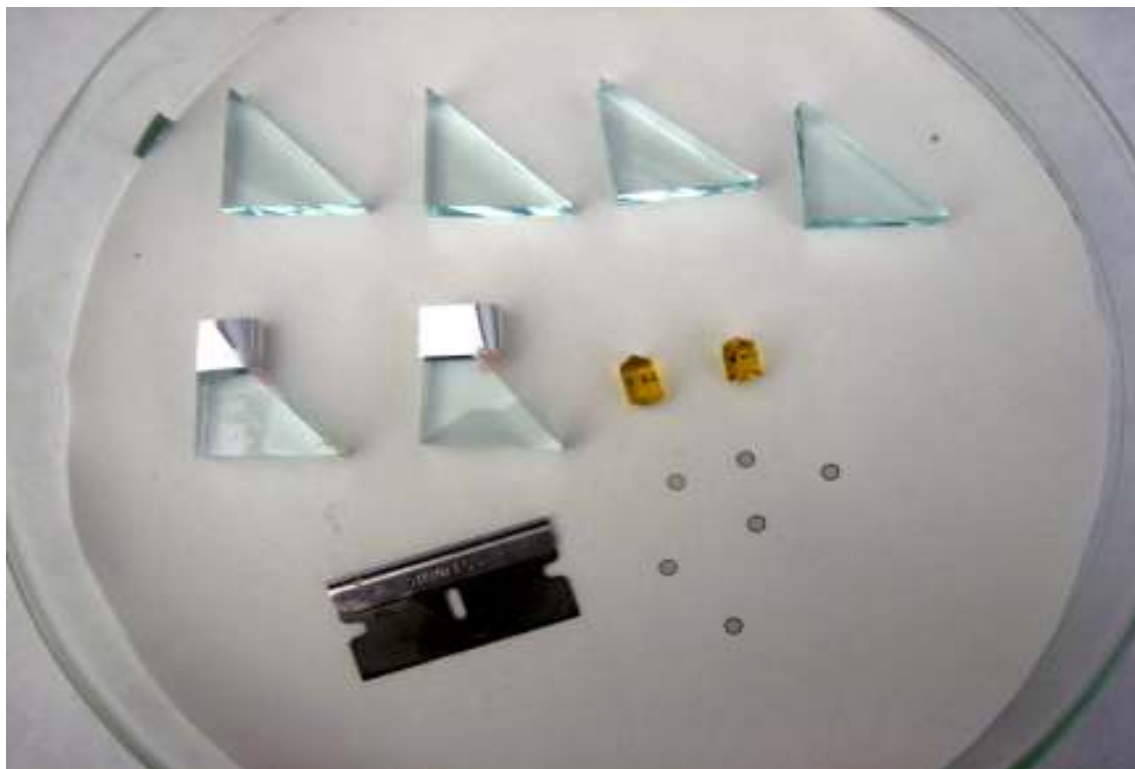
- Bloques de material biológico incluidos en parafina o en resina epoxi para la obtención de secciones delgadas, semifinas y ultrafinas para la investigación microscópica, tanto óptica como electrónica (1973-1977).



- Cuchillas metálicas para la obtención de secciones con el microtomo.



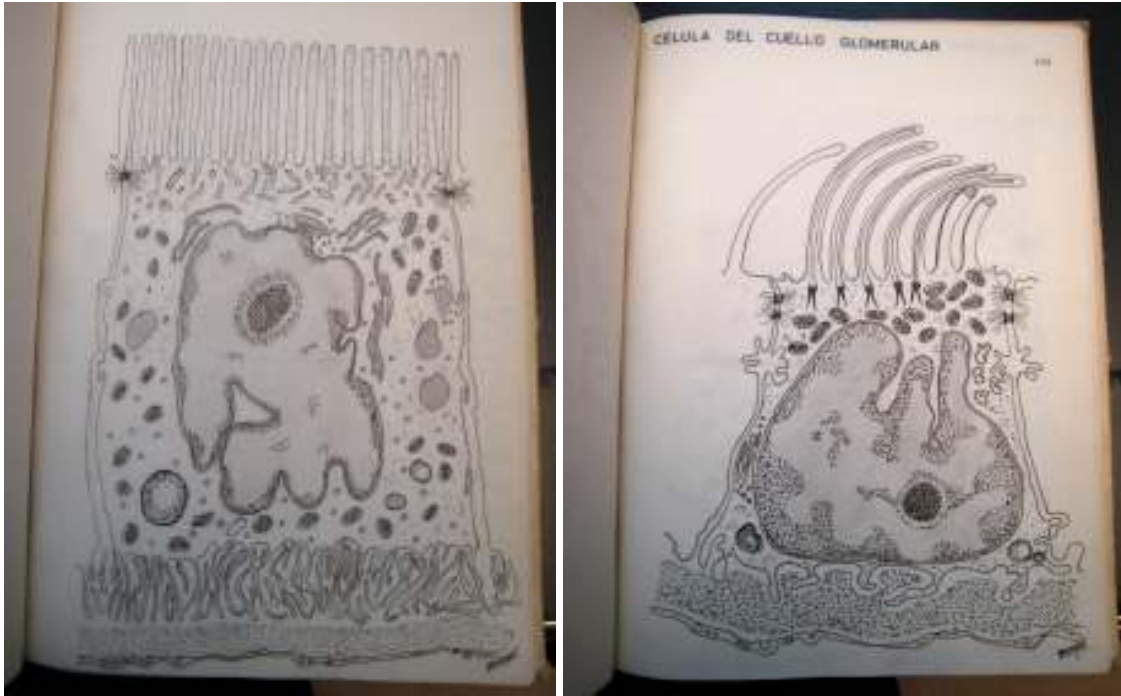
- Rejillas, cuchillas de vidrio y otros materiales, utilizados para la realización de secciones para el estudio microscópico-electrónico (1970-2014).



- Clichés fotográficos correspondientes a Micrografías electrónicas (1973-2010).



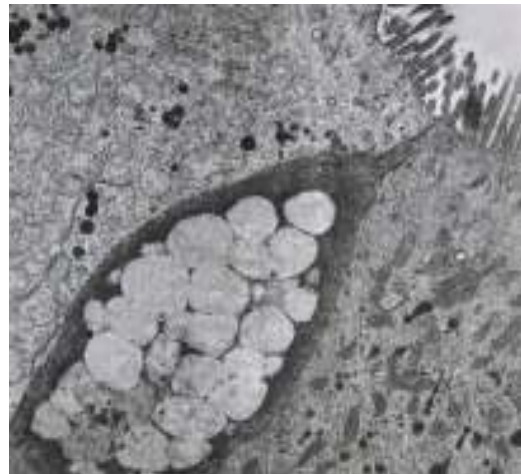
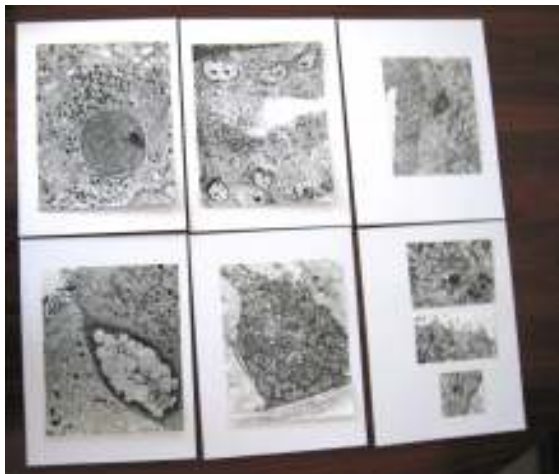
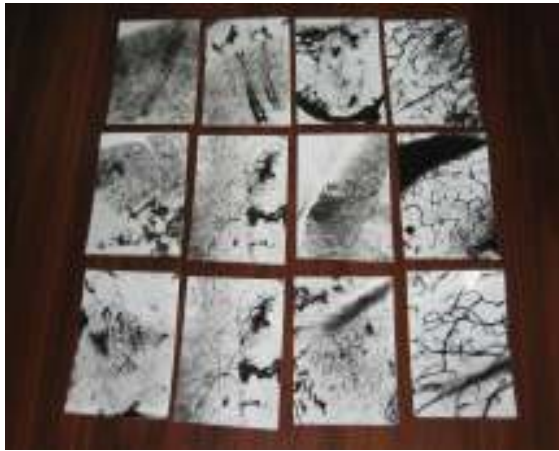
- Ilustraciones pertenecientes a nuestra tesis doctoral en Biología (1973-1976). Tinta china a plumilla y lápiz sobre papel vegetal.



- Diapositivas para la presentación (ilustración) de resultados científicos (1976-2003).



- Micrografías ópticas y electrónicas mostrando tejidos células y orgánulos celulares, a diferentes aumentos (1973-1976).



- Trabajos científicos originales, provistos de ilustraciones, publicados en diferentes revistas internacionales (1976-2014).



The image displays three overlapping pages from a scientific journal, likely 'Cell and Tissue Research' (Zell- und Gewebeforschung), as indicated by the text on the top page. The pages are arranged diagonally on a dark wooden surface. The top page features a large electron micrograph of a cell, showing various organelles and structures. The middle page contains a smaller electron micrograph and a larger one. The bottom page shows a large electron micrograph and a smaller one. The text is in German, and the pages appear to be from a research paper or a book. The overall composition is a collage of scientific imagery and text.

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the reader for non-commercial research and education only, not for reproduction, distribution or commercial use. Any reuse, including reproduction and distribution, in whole or in part, is prohibited.

This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

<http://www.elsevier.com/locate/ymimm>

Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the reader for non-commercial research and education only, not for reproduction, distribution or commercial use. Any reuse, including reproduction and distribution, in whole or in part, is prohibited.

This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

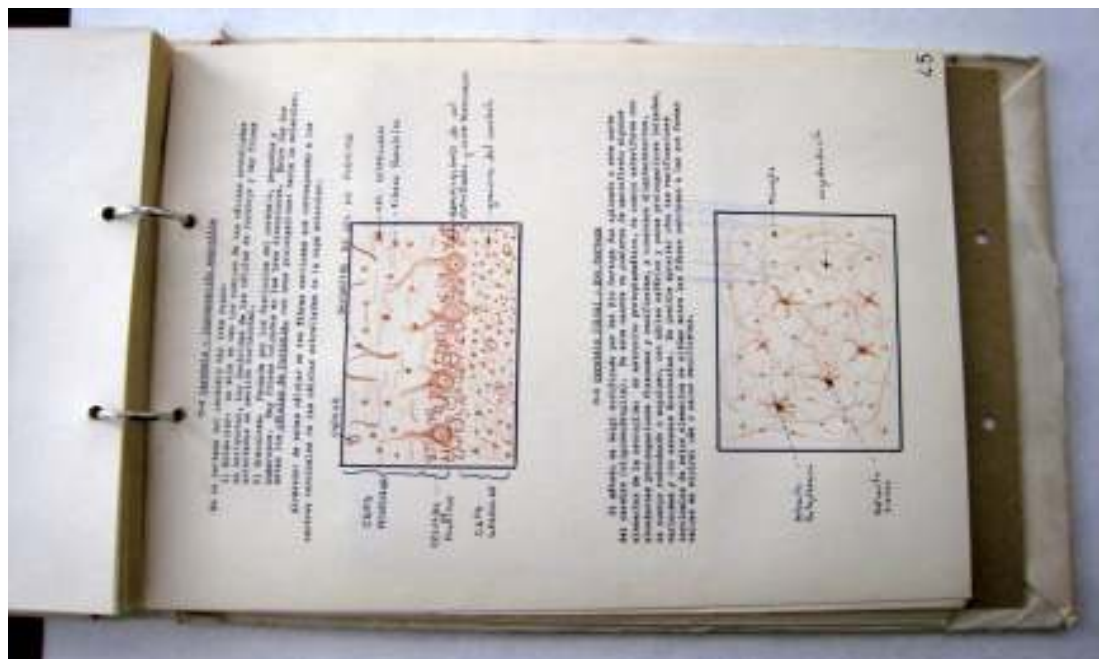
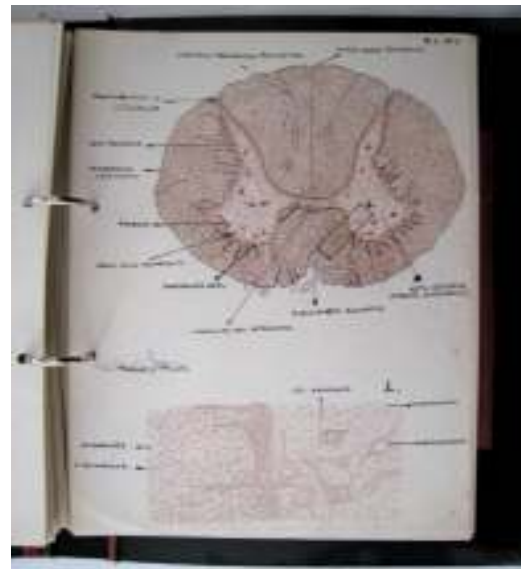
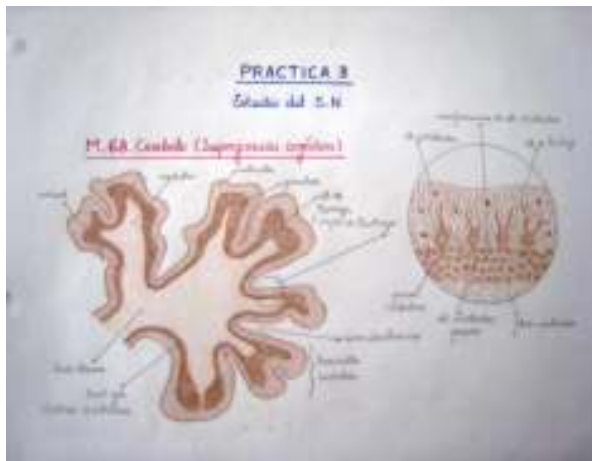
This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly.

<http://www.elsevier.com/locate/yfishim>

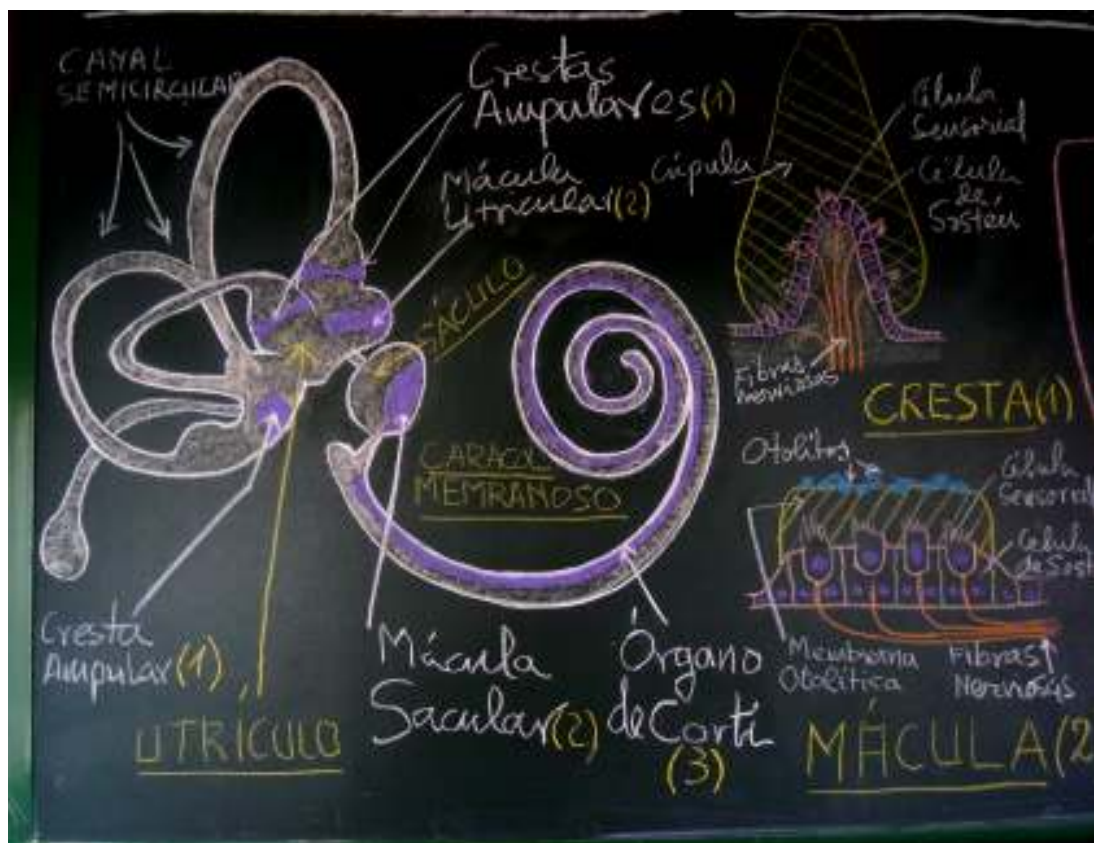
4. 2. Segunda sección expositiva. “Arte y Ciencia en el Aula”

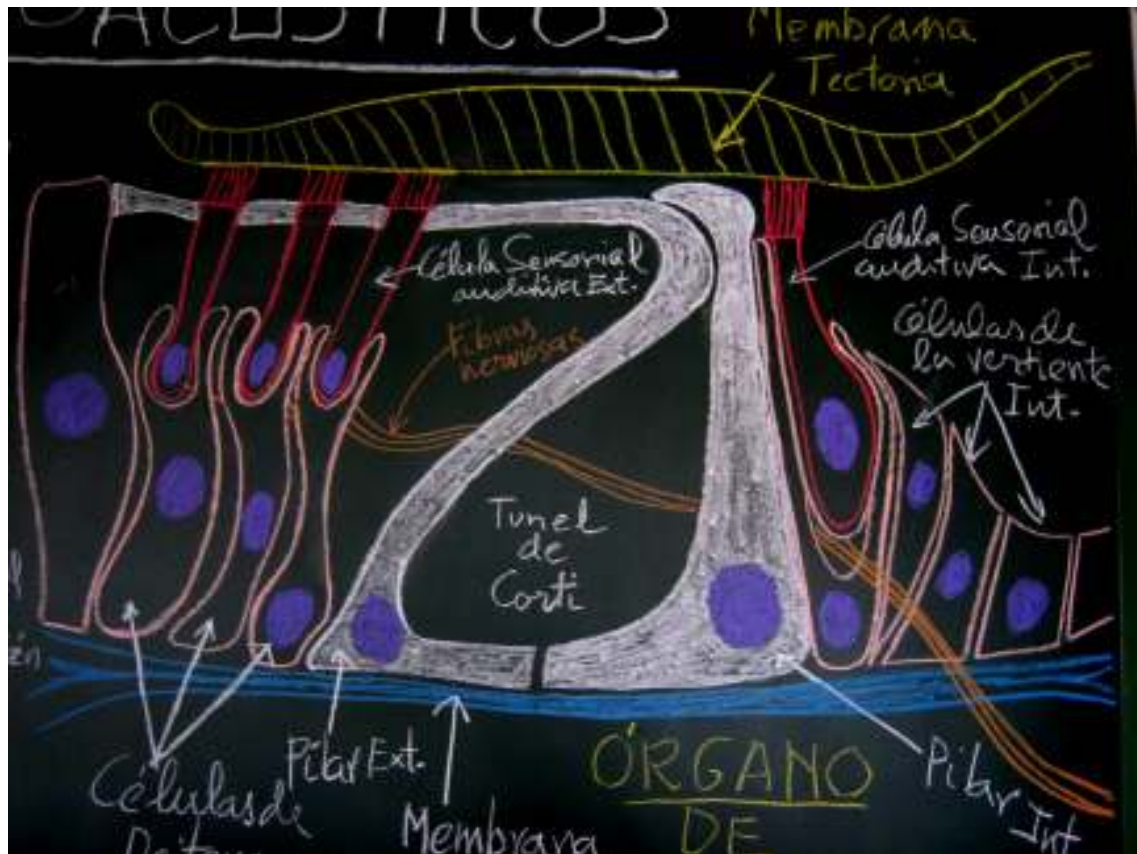
Esta segunda parte consta de un conjunto de dibujos, realizados con lápices de colores sobre cartulina, durante el desarrollo de las prácticas de observación microscópica. También se incluyen pizarras de 250cm. x 120cm., mostrando dibujos similares a los realizados durante las clases de teoría o de prácticas, con tizas de colores, cuya temática está íntimamente relacionada con los dibujos histológicos de Santiago Ramón y Cajal:

- Dibujos histológicos realizados en la sala de prácticas, por alumnos de licenciatura de Biología y de Medicina (1973-1985), con lápices de colores sobre papel o cartulina.



- Dibujos realizados sobre pizarra, relativos a los siguientes temas científicos:
 - . Receptores estatoacústicos. Estructura del caracol membranoso. Los receptores auditivos.

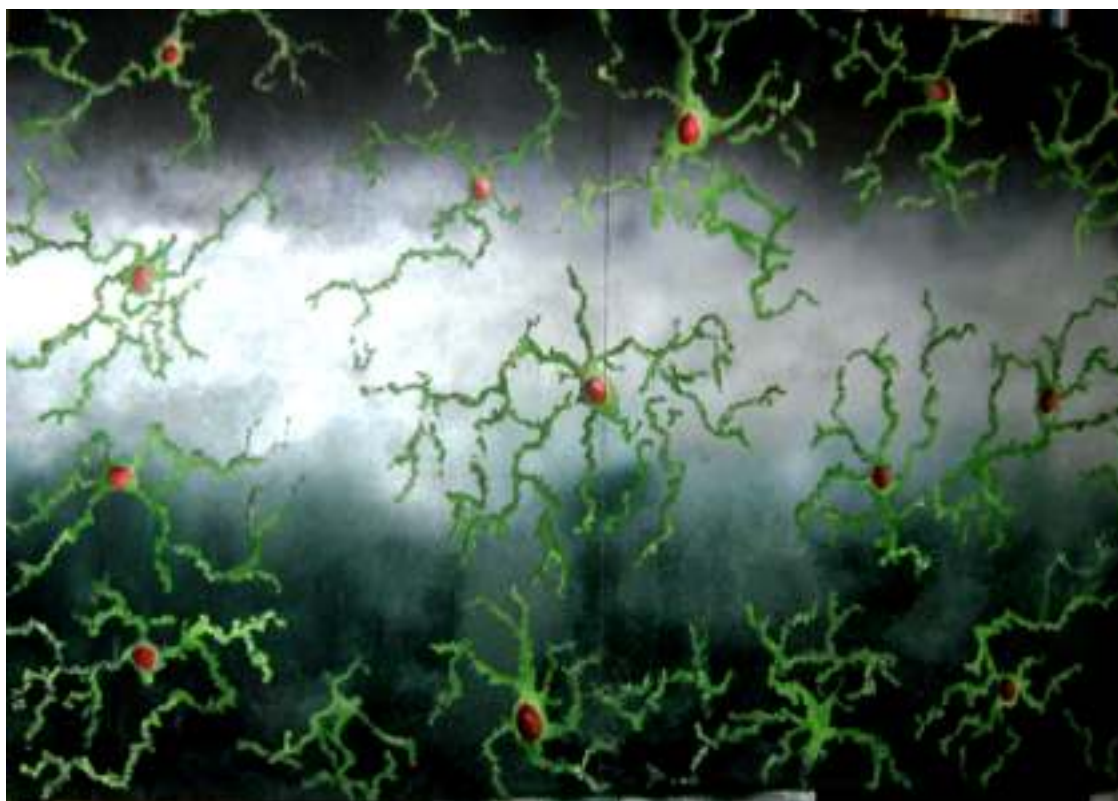




- . El ojo y la retina. Los fotorreceptores.
- . La laminilla del cerebelo. Capas y tipos de células.
- . Estructura y ultraestructura de la neurona. La fibra nerviosa.

4. 3. Tercera sección expositiva. “Hechos de Arte y Ciencia”

La tercera parte de la exposición consta de diferentes obras, con formato variable y técnica mixta.



Detalles de dos momentos de la producción de una de las obras.

5. Análisis de la obra objeto de la instalación

La presente muestra, ha sido concebida con la intención de mostrar la evolución acontecida en la relación entre arte y ciencia, a través de la ilustración científica y los materiales que hemos empleado en ella, de modo personal, durante los últimos cuarenta años.

La variedad de técnicas, materiales, formas y medios de que consta esta muestra, son testimonio de la gran diversidad de conceptos, medios expresivos, etc., que han sido utilizados durante el procedimiento creativo artístico a lo largo de la historia reciente, para la ilustración científica en el campo de las ciencias de la vida. La influencia multifactorial del arte y de la ciencia en nuestra vida, se pone de manifiesto a través de estas actividades y de sus relaciones.

En la memoria de la presente Tesis Doctoral, de un lado hemos tratado, desde la perspectiva del arte, los dibujos que fueron realizados por Santiago Ramón y Cajal mientras se convertía en el padre de la neurociencia moderna. De otro, exponemos materiales provistos de curiosas formas y estructuras, así como obras plenas de color y propiedades plásticas. Todo ello, con la intención de adentrarnos en el complejo mundo de la relación entre expresión artística y conocimiento científico.

El conjunto del trabajo que hemos realizado, permite comprobar que los resultados de la investigación científica, expresados mediante lenguaje escrito y/o plástico, adquieren importancia, no sólo porque suponen avances en los campos biológicos, sanitarios, tecnológicos, industriales, etc., sino que, también y de modo esencial, por el extraordinario potencial creador artístico. La gran belleza plástica de las láminas de ciencia clásicas, tiene su continuidad en las actuales formas de ilustración científica, creadas a la luz de las técnicas, los conceptos y los estilos contemporáneos.

Los objetos que componen esta instalación, muestran una amplia variedad de formas, efectos, colorido, etc., producto de los distintos materiales, texturas, colorantes químicos o pictóricos, técnicas plásticas, etc. empleados por y para ilustrar la ciencia. Sus propiedades, los convierten en sugestivos medios de expresión visual, cuya contemplación nos remiten al arte de cualquier época pasada o presente, a la vez que nos abre una perspectiva de futuro.

6. Corolario

La presente muestra expositiva pretende poner de manifiesto la estrecha relación existente entre los mundos del arte y de la ciencia. Además, nos muestra que el dibujo científico es una herramienta imprescindible en el ejercicio científico, tanto en su vertiente docente como investigadora. En el caso concreto de los dibujos histológicos sobre el sistema nervioso del hombre y de los vertebrados, estos supusieron, y suponen actualmente, un elemento clave en el desarrollo del conocimiento en esta área científica y académica.



BIBLIOGRAFÍA

Para la confección de este apartado se han seguido las Normas de Vancouver para la publicación y la cita de referencias bibliográficas en el ámbito de las ciencias. De acuerdo con estas normas, las referencias correspondientes a artículos y libros, han sido enumeradas consecutivamente según el orden de aparición en el texto, y se identifican mediante números arábigos entre paréntesis. En el caso de enlaces externos (Páginas Web), se han enumerado también siguiendo el orden de aparición en el texto, y se identifican mediante el prefijo P y el correspondiente número arábigo, todo ello entre paréntesis. Hemos utilizado los requisitos de uniformidad de la última actualización realizada el año 2010 (P75, P76).

1. ARTÍCULOS Y LIBROS

- (1) Smith, J. M. (2003). “Arte y ciencia: Cajal y el dibujo”
Ed. Congreso Cajal. Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- (2) Martínez Murillo, J. M. (2004). La pintura, el dibujo y la fotografía creativa de Santiago Ramón y Cajal.
Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- (3) Ramón y Cajal, S. (2007b). Memorias. Mi infancia y juventud; el mundo visto a los ochenta años.
Ed. Las tres Sorores. Madrid.
- (4) Ramón y Cajal, S. (1989). Recollections of my life.
Ed. MIT Press.
- (5) Vera, F. J. (2000). Santiago Ramón y Cajal en Valencia (1884-1887).
Ed. Danes (Calabria), Biografía 2. Valencia.
- (6) Ramón y Cajal, S. (2012). Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados (Tomo II. Segunda parte).
Ed. Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado. 2012.
- (7) Ramón y Cajal, S. (1923b). Recuerdos de mi vida: mi infancia y juventud.
Ed. Imprenta Juan Pueyo. Madrid.
- (8) Ramón y Cajal, S. (1899). Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados.
Ed. Imprenta y Librería de Nicolás Moya. Madrid.

- (9) Ramón y Cajal, S. (2007a). *Fotografía de los colores: Bases científicas y reglas prácticas.*
Ed. Las tres Sorores. Madrid.
- (10) López Piñero, J. M. (2000). *Cajal.*
Ed. Debate (Pensamiento). Madrid.
- (11) DeFelipe, J. (2002a). Cortical interneurons: from Cajal to 2001.
Prog. Brain Res., 136: 215–238.
- (12) DeFelipe, J. (2002b). Sesquicentenary of the birthday of Santiago Ramón y Cajal, the father of modern neuroscience.
Trends Neurosci., 25 : 481–484.
- (13) DeFelipe, J. (2005). Cajal y sus dibujos: ciencia y arte. En: *Arte y Neurología* cap. 18.
Ed. Saned Madrid.
- (14) Sotelo, C. (2003). Viewing the brain through the master hand of Ramón y Cajal.
Nat. Rev. Neuroci., 4(1): 71-77.
- (15) Golgi, C. (1873). Sulla struttura della sostanza grigia del cervello.
Ed. Gazzetta Medica Italiana Lombardia, 6: 244-246.
- (16) Waldeyer, W. (1891). Über einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des centralen Nervensystems.
Deutsch Med. Wochenschr., 17: 1213-1356.
- (17) Shepherd, G.M. (1991). *Foundations of the neuron doctrine.*
Ed. Oxford University Press. Oxford.
- (18) Ramón y Cajal, S. (1894). The Croonian lecture: la fine structure des centres nerveux.
Proc. Royal Soc. Lond., 55: 444-468.
- (19) Ramón y Cajal, S. (1885). Estudios sobre el microbio vírgula del cólera y las inoculaciones profilácticas.
Ed. Tipografía del Hospicio Provincial. Zaragoza.
- (20) Ramón y Cajal, S. (1896b). Método de coloración de las neoplasias.
Rev. Cienc. Méd. Barc., 10: 2–8.
- (21) Schwann, T. (1839). *Microscopic investigations on the accordance in the structure and growth of plants and animals.*
Ed. Sydenham Society Berlin. (English translation, 1847).

- (22) Alberts, B.; Bray, D.; Johson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. y Walter, P. (1999). *Introducción a la Biología Celular*. Ed. Omega. Barcelona.
- (23) Gerlach, J. (1871). Von dem Rückenmark. In: *Handbuch der Lehre der Gewebe des Menschen und der Thiere*. Ed. Stricker S. W. Engelmann. Leipzig.
- (24) His, W. (1886). Zur Geschichte des menschlichen Rückenmarkes und der Nervenwurzeln. *Abhandl. Math.-Phys. Class. Königl. säch. Gesellsch. Wiss., Leipzig* 13: 147-209, 477-513.
- (25) Ramón y Cajal, S. (1887). Notas de laboratorio. III. Músculos de las patas de los insectos. *Bol. Med. Valenciano*, 20: 193–202.
- (26) López-Muñoz, F., Boya, J., Alamo C. (2006). Neuron theory, the cornerstone of neuroscience, on the centenary of the Nobel Prize award to Santiago Ramon y Cajal. *Brain Research Bulletin*, 70: 391-405.
- (27) García-López, P.; García-Marín, V.; Freire, M. (2007). The discovery of dendritic spines by Cajal in 1888 and its relevance in the present neuroscience. *Progr. Neurobiol.*, 83: 110–130.
- (28) De Castro F., López-Mascaraque L., De Carlos J.A. (2007). Cajal: lessons on brain development. *Brain Res. Rev.*, 55: 481-489.
- (29) Ramón y Cajal, S. (1933). ¿Neuronismo o reticularismo? Las pruebas objetivas de la unidad anatómica de las células nerviosas. *Arch. Neurobiol.*, 13: 1-144.
- (30) Lobato, R. D. (2008). Historical vignette of Cajal's work "Degeneration and regeneration of the nervous system" with a reflection of the author. *Neurocirugía*, 19: 456-468.
- (31) DeFelipe, J. y Jones, E. G. (1991). *Cajal's Degeneration and Regeneration of the Nervous System*. Ed. Oxford University Press. New York.
- (32) Martínez, A., Marín, V. G., Junquera, S.R., Martínez-Murillo, R., y Freire, M. (2005). The contributions of Santiago Ramón y Cajal to cancer research – 100 years on. *Nat. Rev. Cancer*, 5: 904–909.
- (33) Del Rio Hortega, P. (1958). *Arte y Artificio de la ciencia Histológica*. Archivo Iberoamericano de Historia de la Medicina y Antropología Médica, Vol. X, fasc. 2, Instituto “Arnaldo de Vilanova” de Historia de la Medicina Ed. CSIC (textos ejemplares y curiosos). Madrid.

- (34) Albarracín, A. (1978). Santiago Ramón y Cajal o la pasión de España.
Ed. Labor S. A. Barcelona.
- (35) Gombrich, E. H. (1979). Arte e ilusión.
Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- (36) Ruiz, M. (1990). Cartilla para aprender a dibujar sacados de la obra de Joseph de Ribera, llamado (vulgarmente) el Españoleto.
Ed. Grafos. Barcelona.
- (37) Fernández, L.A. y Contento, R. (1966). Formación del Buen Gusto: la enseñanza artística en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (siglo XVII) I.
Ed. Edígrafos. Madrid.
- (38) Dieterich, A. (1980). Goya: dibujos,
Ed. Gustavo Gili (Comunicación visual, serie gráfica). Barcelona.
- (39) Da Vinci, L. (1986). Tratado de la pintura, prólogo de Ángel González García.
Ed. Akal (Fuentes de arte), Barcelona.
- (40) Vasari, G. (1998). Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos (Antología)
Ed. Tecnos (Metrópolis), Madrid.
- (41) Moreaux, A. (1981). Anatomía artística del hombre.
Ed. Norma. Madrid.
- (42) Ivins, W. M. (1975). Imágen impresa y conocimiento.
Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- (43) De Castro F. (1966). Prólogo a “La fotografía de los colores” de Ramón y Cajal, S.
Ed. Copigraf. Madrid.
- (44) Ramón y Cajal, S. (1994). La Fotografía de los colores: bases científicas y reglas prácticas. Prólogo de Gerardo F. Kurtz.
Ed. Clan (técnicas artísticas). Madrid.
- (45) Riego, B. (2000). La introducción de la fotografía en España: un reto científico y Cultural.
Ed. CCG Ediciones. Girona.
- (46) Abadía F. y Carrato A. (1984). Cajal una vez más.
Ed. Universidad de Granada (monografía n° 84), Granada.
- (47) Gómez-Molina, J. J. (1992). El dibujo: belleza, razón, orden y artificio.
Ed. Fundación Cultural Mapfre Vida. Madrid.

- (48) Sogues, M. L. (2001). *Historia de la Fotografía*,
Ed. Cátedra (Cuadernos de Arte). Madrid.
- (49) Bordes, J. (2012). *Historia de las teorías de la figura humana*.
Ed. Cátedra. Madrid.
- (50) Tongorio, L. (1984). *Immagine e natura*.
Ed. Panini. Modena. Italia.
- (51) Sáenz, C. (2007). *Manual práctico de dibujo técnico*.
Ed. Reverté, S. A. Barcelona.
- (52) Kalpakjian Serope, S. S. (2001). *Manufactura, ingeniería y tecnología*
Ed. Pearson Educación. Barcelona.
- (53) Barasch, M. (1991). *Teorías del arte. De Platón a Winckelmann*.
Ed. Alianza editorial. Madrid.
- (54) Hodges E. R. S.; Isham L. B.; Jessup M. E.; Lewis G.R. (1989). *The Guild handbook of scientific illustration*.
Ed: Van Nostrand Reinhold. New York.
- (55) De Pedro, A. E. (1989). *Las expediciones científicas a América a la luz de sus imágenes Artístico-Científicas. En Ciencia vida y espacio en iberoamérica*.
Ed. CSIC. Madrid.
- (56) De Pedro, A. E. (1999). *Historia de la Ciencia y de la Técnica. El diseño científico*.
Ed. Akal S. A. Madrid.
- (57) Blas, L. (1999). «España. Cuevas de Altamira». *Patrimonio de la Humanidad. Europa Mediterránea I*.
Ed. Ediciones San Marcos. Perú.
- (58) Wiseman, N. y Ellis, A. (1996). *Fundamentals of Chinese medicine*.
Ed. Paradigm Publications. Londres.
- (59) Skopalik, C. y Marmori, F. (1993) *Curso de Medicina Tradicional China*.
Ed. Fundación Europea de Medicina Tradicional China. Yunnan.
- (60) Rodríguez Cuadras, M. (2010). *Medicina tradicional china. Teoría Básica I*.
2010.
Ed. Fundación Europea de Medicina Tradicional China. Yunnan.
- (61) Fernandez F. A. (1973). *La India Milenaria y su Medicina Tradicional*.
Ed. Kier. Buenos Aires.
- (62) Salguero, C. P. (2007). *Traditional Thai Medicine: Buddhism, Animism, Ayurved*.
Ed. Hohm Press. Chino Valley. Arizona.

- (63) Barochi, P. (1961). *Tratatti d'Arte del Cinquecento*.
Ed. Gius Laterza e figli. Bari.
- (64) Fuchs, L. (2002). *De Historia Stirpium*.
Ed. Glasgow University Library. Scotland. U.K.
- (65) Fries, L. (1518). *Digitalización de grabados publicados en el mundo de habla alemana del siglo XVI (1518-1600)*.
Ed. Biblioteca Estatal de Baviera. Alemania. Estrasburgo.
- (66) Bedini, S. A. (1997). *The Pope's Elephant*.
Ed. Carcanet Press. Manchester.
- (67) Harrison, D. H.; Steinke, H.; Kemp, M. (2013). *Anatomy and art through the ages*. *Ed. Karger A. G. Basel.*
- (68) Picon, A. (1988). *Claude Perrault ou La Curiosité d'un Classique*.
Ed. Picard. París.
- (69) Hooke, R. (1665). "Micrographia: Some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses".
Ed. Martyn and Allestry. London.
- (70) López Piñero, J. M. (1987). *El grabado en la ciencia hispánica*.
Ed. CSIC. Madrid.
- (71) López Piñero, J. M. (2001). *El Atlas anatómico de Crisóstomo Martínez*.
Ed. Ayuntamiento de Valencia. Valencia.
- (72) López Terrada, M.J. y Jerez Moliner, F. (1994). «El "Atlas Anatómico" de Crisóstomo Martínez como ejemplo de "Vanitas"».
Ed. Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar. Zaragoza.
- (73) Gallego, A. (1979). *Historia del grabado en España*.
Ed. Cátedra. Madrid.
- (74) Carrete Parrondo, J. (1982). *Cuaderno de aves para el príncipe. Estampas de Eugenia Beer. Siglo XVII*.
Ed. Gustavo Gilí. Barcelona.
- (75) Alvargonzález, D. (1992). *El sistema de clasificación de Linneo*.
Ed. Universidad de Oviedo. Oviedo.
- (76) Cruz Arozarena, D. y Borroto Rodríguez, I. (2011). *El Arte de Ilustrar las Plantas*.
Ed. Museo Nacional de Historia Natural. Madrid.
- (77) Lucena Giraldo, M. y De Pedro, A. E. (1992). *La frontera Carílica: Expedición de límites al Orinoco (1754-1761)*.
Ed. Lagoben. Caracas.

- (78) Minguet, Ch. (1985). Alejandro de Humboldt, Historiador y Geógrafo de la America Española.
Ed. Universidad Autónoma de Méjico. Méjico.
- (79) Drouin, J. M. (1993). L'Ecologie et son Histoire.
Ed. Flammarion. Paris.
- (80) Foucault, M. (1981). Las palabras y las cosas.
Ed. Siglo XXI. México.
- (81) López Piñero, J. M. y Jerez Moliner F. (1999). La imagen del cuerpo humano en la medicina moderna (siglos XVI-XX).
Ed. Fundación Bancaja (Comunicación Gráfica S. L.). Valencia.
- (82) Singlet, S. (2002). Anatomía para el artista.
Ed. Blume. Londres.
- (83) Rodríguez Nozal, R. y Gonzalez Bueno, A., (1995). La formación de grabadores para las “Floras Americanas”: un proyecto frustrado. En: Díez Torre A. R. y col. (1995), De la ciencia ilustrada a la ciencia romántica.
Ed. Ateneo. Madrid.
- (84) Loos, E. M. (2000). Evaluating Scientific illustrations: Basics for Editors.
Sci. Ed., 23 (4), 124-125.
- (85) Wood P. W. (1994) Scientific illustration: a guide to biological, zoological, and medical rendering techniques, design, printing, and display.
Ed. Van Nostrand Reinhold. New York.
- (86) Cargill, M. y O'Connor, P. (2013). Writing Scientific Research Articles: Strategy and Steps, 2nd Edition.
Ed. Wiley-Blackwell. London.
- (87) Padilla Álvarez, F.; Padilla, F.; Cuesta, A.; Cuesta López, A.E. (2003) Zoología aplicada.
Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- (88) Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. y Watson, J. D. (1997). Biología Molecular de la Célula.
Ed. Omega. Barcelona.
- (89) Mikula, S., Trotts, I., Stone, J., Jones, E. (2007). Internet-enabled high-resolution brain mapping and virtual microscopy.
Neuroimage, 35: 9-15.
- (90) Wischnitzer, S. (1981). Introduction to electron microscopy
Ed. Pergamon Elmsfor. New York.
- (91) Kiersenbaum, A. (2002) Histology and cell Biology
Ed. Mosby Inc. St. Louis, Missouri.

- (92) Rix, M. (1981). *The Art of Botanical Illustration*.
Ed. Arche Cape Press. New York.
- (93) Stoichita, V. I. (1993). *L'Instauration du Tableau*.
Ed. Meridiens Klincksieck. Paris.
- (94) Tió y Sauleda, S. (2007). *Ferran i Paulí: La instantaneidad en fotografia*
Ed. Càtedra UNESCO. Barcelona.
- (95) Council of Biology Editors (1988). *Illustrating science: Standards for publication*.
Ed. Council of Biology Editors. Bethesda. Mariland.
- (96) Benson, R. (2008). *The printed picture*.
Ed. The Museum of Modern Art (MOMA). New York.
- (97) Gennard, D. (2012). *Forensic Entomology: An Introduction*.
Ed. Wiley-Blackwell. Oxford.
- (98) Gennard, D. (2013). *Forensic Entomology: An Introduction*. 2nd Edition.
Ed. Wiley-Blackwell. Oxford.
- (99) García-López, P.; García-Marín, V.; Freire, M. (2010). *The histological slides and drawings of Cajal*.
Front. Neuroanat., 4: 1-16.
- (100) Ramón y Cajal, S. (1919). *Acción neurotrópica de los epitelios (algunos detalles sobre el mecanismo genético de las ramificaciones nerviosas intraepiteliales, sensitivas y sensoriales)*.
Trab. Lab. Inv. Biol., 17: 181-228.
- (101) Ramón y Cajal, S. (1891). *Sur la structure de l'écorce cérébrale de quelques mammifères*.
Cellule, 7:125-176.
- (102) Ramón y Cajal, S. (2007). *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Tomo I*.
Ed. Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado. 2012.
- (103) Ramón y Cajal, S. (2009). *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Tomo II. Primera parte*.
Ed. Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado. 2012.
- (104) Ramón y Cajal, S. y De Castro F., (1972). *Elementos de técnica micrográfica del sistema nervioso*.
Ed. Salvat. S. A. Barcelona.

- (105) Ramón y Cajal, S. (1889). Manual de histología normal y de técnica micrográfica.
Ed. Librería de Pascual Aguilar. Valencia.
- (106) Apáthy, S. (1897). Das leitende element des nervensystem und seine topographischen beziehungen zu zellen.
Mitt. Zool. Stat. Neapel, 12: 495-748.
- (107) Deiters, O. F. F. (1865). Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark des Menschen und der Säugethiere.
Ed. Schulze, M. Braunschweih. Vieweg.
- (108) Simarro, L. (1900). Nuevo método histológico de impregnación por sales fotográficas de plata.
Rev. Trim. Micrográf. Madrid, 5: 45-71.
- (109) Ramón y Cajal, S. (1912). Fórmula de fijación para la demostración fácil del aparato reticular de Golgi.
Bol. Soc. Geogr. Biol., 1: 263-269.
- (110) Ramón y Cajal, S. (1925). Contribution à la connaissance de la néuroglie cérébrale et cérébelleuse dans la paralysie générale progressive.
Trav. Lab. Rech. Biol. Univ. Madrid, 23:157-216.
- (111) Del Rio-Hortega, P. (1918). Noticia para un nuevo y fácil método para la coloración de la neuroglía y del tejido conjuntivo.
Trab. Lab. Inv. Biol. Univ. Madrid, 15: 317.
- (112) Ramón y Cajal Junquera, S. (2006). Ramón y Cajal, la voluntad de un sabio.
Ed. Just in Time S. L. Madrid.
- (113) Nissl, F. (1894). Über die untersuchungsmethoden der grosshirnrinde.
Tagebl. d. Naturforsch. Zu Strassburg, 1885. En Ramón y Cajal, S., (2007).
- (114) Ramón y Cajal, S. (1900). Pequeñas comunicaciones técnicas.
Rev. Trim. micrograf., 5: 95-109.
- (115) Azoulay, L. (1894). Coloration de la myéline des tissus nerveux et de la graisse par l'acide osmique et le tannin ou ses analogues.
Anat. Anz., 10: 25-28.
- (116) Ehrlich, P. (1886). Ueber die methylenblaureaction der lebenden nervensubstanz.
Dtsch. Med. Wochenschr., 12: 49-52.
- (117) Held, H. (1897). Beiträge zur structure der nervenzellen und ihrer fortsätze. Zweite. Abhandlung.
Arch. Anat. Phys. Anat. Abt., 2: 204-294.
- (118) Auerbach, L. (1898). Nervenendigung in den centralorganen.
Neurol. Centralbl., 17:445-454.

- (119) Bastian, H. C. (1880). The brain as an organ of mind.
Ed. Kegan Paul. London
- (120) Ramón y Cajal, S. (1904). Consideraciones generales sobre la morfología de la célula nerviosa.
La veterinaria Española, 37; 257- 291.
- (121) Ramón y Cajal, S. (1896). Estructura del protoplasma nervioso.
Rev. Trimest. Micrográf., 1: 83-113.
- (122) Ramón y Cajal, S. (1889). Nuevas aplicaciones del método de coloración de Golgi.
Gac. Méd. Cat., 12: 1-8.
- (123) Ramón y Cajal, S. (1903). Un sencillo método de coloración del retículo protoplásmico y sus efectos en los diversos centros nerviosos de vertebrados e invertebrados.
Trab. Lab. Inv. Biol. Univ. Madr., 2: 129-221.
- (124) Ramón y Cajal, S. (1913). Un nuevo proceder para la impregnación de la neuroglía.
Bol. Soc. Esp. Biol., 2: 104-108.
- (125) Ramón y Cajal, S. (1920). Una modificación del método de Bielschowsky para la impregnación de la neuroglia común y mesoglia y algunos consejos acerca de la técnica del oro-sublimado.
Trab. Lab. Inv. Bio., 18: 129-141.
- (126) Purkinje, J. E. (1838). Bericht über versammlung deutscher naturforcher und ärzte in Prag im September, 1837, pt3, sec. 5 A.
Anat. Fisiol. Verhand., 177-180.
- (127) Remak, R. (1838). Observaciones anatomicae et microscopicae de systematis nervosi structura.
Ed. Reimer. Berlin.
- (128) Ranvier, L. (1878). Leçons sur l'istologie du système nerveux. Vol 1.
Ed. Savy. Paris.
- (129) Meissner, G. (1853). Beiträge zur anatomie und physiologie der Aut..
Ed. Voss. Leipzig.
- (130) Pacini, F. (1836). Sopra un particolare genere di piccoli corpi globulari escopertinel coreo humano.
Nuovo giornale dei letterati, 32: 109-114.
- (131) DeFelipe, J. y Jones, E. G. (1988). Cajal on the Cerebral Cortex.
Ed. Oxford University Press. New York.

- (132) Wang, Y., Hahn, K., Murphy, R., Horwitz, A. (2006). From imaging to understanding: Frontiers in living cell imaging. *J. Cell. Biol.*, 174 (4): 481-484.
- (133) Weinstein, R. (2005) Innovations in medical imaging and virtual microscopy. *Human Pathol.*, 36:317-319.
- (134) DeFelipe, J. y Markram, H. (2010). Paisajes neuronales: Homenaje a Santiago Ramón y Cajal. Ed. CESIC-CSIC Pres. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid
- (135) Stanley-Baker, J. (1984). "Japanese Art" Ed. Thames and Hudson Ltd. London.
- (136) Ramón y Cajal, S. (2000). Ramón y Cajal. Obras Selectas. Ed. Espasa Calpe. Madrid.
- (137) Ramón y Cajal, S. (2000). Reglas y consejos sobre Investigaciones Científica. Los tónicos de la voluntad. Ed., Espasa Calpe, Madrid.

2. Páginas Web

- (P1) http://cvc.cervantes.es/ciencia/cajal/cajal_recuerdos/recuerdos/infancia_22.htm
Retrato deCajal militar. Recuerdos de mi vida. Consultada en enero 2014.
- (P2) <http://instituciones.sld.cu/csric/galeria-de-imagenes-de-cajal/>
Galería de retratos de Cajal. Consultada en diciembre de 2013.
- (P3) http://www.scholarpedia.org/article/Santiago_Ram%C3%B3n_y_Cajal
Cajal y la Ciencia. Consultada en febrero de 2012.
- (P4) <http://www.redaragon.com/cultura/ramonycajal/biografia.asp>
Autorretrato de Cajal. Consultada en Junio de 2011.
- (P5) http://digital.csic.es/bitstream/10261/12879/3/Cajal_Art.pdf
Cajal y sus dibujos: ciencia y arte. Javier De Felipe (Instituto Cajal, CSIC, 28002-Madrid). Consultada en junio 2012.
- (P6) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbn=isch&tbnid=8DpHD0YzmL5ouM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.revespcardiologia-2Fes%2Fsantiago-ramon-cajal-cardiologia->
Dibujo de dos fibras musculares realizado por Cajal. Consultada en agosto de 2011.

(P7) <http://www.google.es/imgres?start=218&sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=kZJx58zzGa00KM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.todocoleccion.net%2Flibro-antiguo-santiago-ramon-cajal-manual-histologia-normal-tecnica-micrografica->

Libro Histología Normal. Cajal. Consultada en julio de 2011.

(P8) <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Arte/Sorolla/Sim.htm>

Cuadro de Sorolla sobre Simarro. Consultada en junio de 2013.

(P9) <https://www.google.es/search?q=Caricatura+de+Cortiguera&source=lnms&tbnid=isch&sa=X&ei=fZrqUuiYAYnA7Ab35IHYDw&ved=0CAcQAUoAQ&biw=1243&bih=683>

Caricatura de Cajal y otros, realizada por Cortiguera. Consultada en enero de 2011.

(P10) http://books.google.es/books?id=jH5EEyeGliYC&pg=PA29&hl=es&source=gbv&toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false

Paisaje romántico por Cajal. Consultada en diciembre 2011.

(P11) http://www.google.es/imgres?start=194&sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=DsLeYLoU1Di_jM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fvolianihil.blogspot.com%2F2011%2F12%2Fsantiago-ramon-y-cajal-

Autorretrato juvenil de Cajal. Consultada en agosto de 2011.

(P12) http://www.aragon.es/culytur/rcajal/mapa_ing.htm

Dibujos y fotografías de Cajal. Consultada en abril de 2011.

(P13) http://www.encyclopediaragonesa.com/m/voz.asp?voz_id=20879&voz_id_origen=10191

Biografía de León Abadías. Consultada en diciembre de 2011.

(P14) http://cvc.cervantes.es/ciencia/cajal/cajal_recuerdos/introduccion_13.htm

Los dibujos de Cajal. Consultada en enero 2011.

(P15) <http://www.elmundo.es/magazine/2002/142/1024042236.html>

Foto disección, Cajal y alumnos. Consultada en diciembre 2013.

(P16) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=INCIMTHNJFmRdM%3A&imgrefurl>

Dibujos anatómicos de Cajal. Consultada en abril de 2011.

(P17) <http://condecorate.com/2013/04/22/anatomia-humana-del-siglo-xix-cromolitografia-del-doctor-emilio-sanchis-1869/>

Dibujos anatómicos de Cajal. Consultada en abril de 2011.

(P18) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=TsvlR0aIYJA5M%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fnaukas.com%2F2011%2F10%2F28%2Falgunas-aficiones-desconocidas-de-los->

Fotografía de Cajal a los 18 años. Consultada en enero de 2011.

- (P19) <http://www.aragon.es/culytur/rcajal/gal-fotogr.htm#>
Fotografías hechas por Cajal. Consultada en abril de 2011.
- (P20) <http://es.wikipedia.org/wiki/Dibujo>
Concepto dibujo, tipos, etc. Consultada en diciembre 2011.
- (P21) [http://es.wikipedia.org/wiki/Ilustraci%C3%B3n_\(dise%C3%B1o_gr%C3%A1fico\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ilustraci%C3%B3n_(dise%C3%B1o_gr%C3%A1fico))
Concepto de ilustración. Consultada en junio de 2012.
- (P22) <http://www.lukor.com/literatura/dibujo-y-diseno.htm>
El dibujo no oriental. Consultada en junio de 2013.
- (P23) <http://miuniversodigital.com/2011/12/los-10-mejores-software-de-diseno-asistido-por-computador-con-animacion3d/>
Sobre programas de diseño asistido por ordenador. Consultada en junio de 2013.
- (P24) http://bioserv.fiu.edu/~biolab/labs/1011/supplemental_materials/Scientific%20drawnigs.pdf El dibujo científico. Consultada en junio 2013.
- (P25) <http://www.arteespana.com/pinturasprehistoricas.htm>
Pinturas Altamira. Consultada en enero de 2014.
- (P26) <https://www.google.es/search?q=naturalis+historia+plinio&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=nPbrUuaCHqen0AXB54DIBg&ved=0CE0QsAQ&biw=1243&bih=683>
Historia natural de Plinio. Consultada en junio de 2013.
- (P27) <http://clendening.kumc.edu/dc/jm/>
Arte japonés. Consultada junio de 2011.
- (P28) <http://www.kumc.edu/dc/cp/cph13.html>
Posters sobre salud pública en China. Consultada en julio de 2011.
- (P29) <http://es.wikipedia.org/wiki/Ayurveda>
Imagen ayurveda. Consultada en junio de 2013.
- (P30) <http://www.dioscorides.net/>
Sobre Dioscorides. Siglos XV-XVI. Consultada en junio de 2011.
- (P31) <http://sciweb.nybg.org/science2/Onlinexhibits/exhbtcata.html>
Revisión histórica. Siglos XV-XVI. Dibujo de Liberale y Meyerpeck, y otros. Consultada enero 2013.
- (P32) <http://books.google.es/books?id=znOfkbic5OEC&pg=PA169&lpg=PA169&dq=G+Melantrich,+1562&source=bl&ots=wm9v-Z0V->
Libro de F. J. Anderson sobre herbarios. Consultada en diciembre de 2013.

- (P33) <http://www.digital-collections.de/index.html>
Grabados publicados en el mundo de habla alemana del siglo XVI. Consultada en octubre de 2013.
- (P34) <http://www.google.es/imgres?um=1&sa=N&biw=1243&bih=683&hl=es&tbm=isch&tbnid=Hzk7KV7ErZHWRM%3A&imgrefurl>
Sobre Fries. Espejo de cirugía (Spiegel of Artzny). Consultada en agosto de 2013.
- (P35) <https://www.google.es/search?q=leonardo+da+vinci+dibujos+anatomicos&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=csu->
Dibujo de Leonardo da Vinci. Consultada en diciembre 2013.
- (P36) http://es.wikipedia.org/wiki/Rinoceronte_de_Durero
Rinoceronte de Durero. Consultada en diciembre 2012.
- (P37) http://es.wikipedia.org/wiki/De_humani_corporis_fabrica.
Grabados de vesalio en “Humanis corporis fabrica” Consultada en enero de 2013.
- (P38) http://en.wikipedia.org/wiki/Juan_Valverde_de_Amusco
Grabado del desollado. Consultada en diciembre de 2013.
- (P39) http://www.encyclopedia.com/topic/Georges-Louis_Leclerc_Buffon_Comte_De.aspx
Sobre Buffon (Leclerc). Consultada en junio de 2011.
- (P40) http://mussi.mnhn.fr/webcontent/viewer/viewer.asp?INSTANCE=INCIPIO&EXTERNALID=WBCTDOC_432
Grabado sobre disección animal. Buffón. Consultada en junio de 2013.
- (P41) <https://www.google.es/#q=Erizo+y+puerco+espin%2C+Perrault>
Dibujo de puercoespín y camaleón de Perrault. Consultada en diciembre de 2013.
- (P42) <http://en.wikipedia.org/wiki/Micrographia>
Grabado de Micrographia de R. Hook. Consultada en diciembre de 2013.
- (P43) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=QWT46rvwxpTF6M:&imgrefurl=http://www.comunicacion->
Dibujo de Crisóstomo Martínez. Consultada en diciembre de 2012.
- (P44) <http://www.imarcano.com/biografia/linneo.html>
Sobre biografía de Linneo. Consultada en diciembre 2012.
- (P45) http://www.ecured.cu/index.php/Carlos_Linneo
Datos sobre la obra de Linneo. Consultada en diciembre de 2012.
- (P46) <http://www.biodiversitylibrary.org/item/13838#page/122/mode/1up>
Hortus Cliffortiano de Linneo. Consultada en diciembre 2012.

(P47) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=ktYVuTHDOKOPDM%3A&imgrefurl>

Historia Natural de Buffon. Consultada en enero de 2013.

(P48) <http://ilustrandoenlaescueladearte.blogspot.com.es/2013/04/ilustracion-cientifica-panorama-general.html>

Ilustración científica, panorama general. Sobre ilustradores y sus imágenes. Consultada en diciembre 2013.

(P49) http://www.artchive.com/web_gallery/N/Nicolas-Henri-Jacob/Nicolas-Henri-Jacob-reproductions-1.html

Grabado de Jacob coloreado a mano. Consultada en diciembre de 2013.

(P50) <http://www.google.es/imgres?um=1&sa=N&biw=1243&bih=683&hl=es&tbm=isch&tbnid=VaO8JBxb4SgV9M%3A&imgrefurl>

Imagen de microscopía electrónica de transmisión. Consultada en diciembre de 2013.

(P51) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=0745r tMnruO5M%3A&imgrefurl>

Imagen de microscopía electrónica de barrido. Consultada en diciembre de 2013.

(P52) <http://wondrus.la/arte/durero-grabados>

Retrato de A. Durero. Consultada en diciembre de 2013.

(P53) <http://www.slideshare.net/inesmartinmasa/artes-grficas-xilografa-10092513>

Sobre las artes gráficas. Consultada en enero de 2014.

(P54) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=XxRU2MiuwCwCTM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fhicido.uv.es%2FExpo%2Fmedicina%2FCirugia%2Foftalmologia>

Oftalmoscopia de Antonio Pascual Abad. Consultada en diciembre de 2013.

(P55) <http://www.lavozlibre.com/noticias/ampliar/79188/45000-dolares-por-unas-radiografias-de-marilyn-monroe>

Radiografía de Marilyn Monroe. Consultada en julio de 2013.

(P56) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=llk6VnTfRvKfIM:&imgrefurl=http://podologotinko.wordpress.com/2010/07/26/radiografia-en-tiempo-real>

Imagen de fluoroscopia. Consultada en diciembre de 2013.

(P57) <http://www.google.es/imgres?imgurl=http://fotos.infojardin.com/subidas-imagenes/images/rgh1239765532j.jpg&imgrefurl>

Imagen macroscópica de planta carnívora. Consultada en octubre de 2012.

(P58) <http://desinsectador.files.wordpress.com/2013/02/linepithema-02.jpg>

Imagen de insecto visto a la lupa binocular. Consultada en enero de 2014.

- (P59) <http://www.tandar.cnea.gov.ar/eventos/Nano2010/Levv.pdf>
Imagen de microscopía de fuerza atómica. Consultada en diciembre 2012.
- (P60) http://www.google.es/imgres?start=246&um=1&sa=N&biw=1243&bih=683&hl=es&tbm=isch&tbnid=5mL1cAhFf_BlpM%3A&imgrefurl
Imagen de microscopía óptica. Consultada en diciembre de 2013.
- (P61) http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=-0OhoEu_7Ir81M:&imgrefurl=http://microscopico.wordpress.com/confocal/&docid=U5
Imagen de microscopía confocal. Consultada en octubre de 2011.
- (P62) http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/capitulo7_5.htm
Sobre deconvolución. Consultada en diciembre de 2013.
- (P63) <http://www.rtve.es/noticias/20130304/nueva-tecnica-mejora-capacidad-microscopios-fuerza-atomica/612832.shtml>
Imagen de microscopía de fuerza atómica. CESIC. Madrid. Consultada en marzo de 2012.
- (P64) http://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/Images/1200_pixels/Estienne_p279.jpg
Libro de Estienne. Consultada en diciembre de 2012.
- (P65) <http://www.slideshare.net/GriseldaJimenez/movimientos-artisticos-del-siglo-xix-y-xx>
Información sobre movimientos artísticos de siglos XIX y XX. Consultada en enero de 2014.
- (P66) <http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&ved=0CEEQFjAC&url>
Portada del Scientific American de junio de 1879. Consultada en enero de 2013.
- (P67) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=TCVkJhGTC6MzDM%3A&imgrefurl>
Foto del despacho de Cajal. Consultada en junio de 2012.
- (P68) <http://www.google.es/imgres?start=173&sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=wp-M8TtG6B-cNM%3A&imgrefurl>
Foto del laboratorio de Cajal. Consultada en agosto de 2013.
- (P69) <http://www.residencia.csic.es/jae/protagonistas/1.htm>
Sobre Nicolás de Achucarro. Consultada en julio de 2012.
- (P70) <http://www.google.es/imgres?um=1&sa=N&biw=1243&bih=683&hl=es&tbm=isch&tbnid=YVwPp2cD-m3vIM%3A&imgrefurl>
Dibujos sobre el núcleo de la neurona, de Cajal. Consultada en diciembre de 2013.

(P71) http://www.google.es/imgres?um=1&sa=N&biw=1243&bih=683&hl=es&tbm=isch&tbnid=nlnfPoO_jCdP_M%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fcvc.cervantes.es%2Fciencia%2Fcajal%2Fcajal_recuerdos%2Frecuerdos%2Flabor_25.htm&docid

Dibujos del aparato reticular interno de la neurona. Consultada en enero de 2014.

(P72) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=KkBMu2kw54fpTM%3A&imgrefurl>

Dibujo de neuroglía. Consultada en diciembre de 2012.

(P73) <http://www.google.es/imgres?sa=X&biw=1243&bih=683&tbm=isch&tbnid=l7RKEhYnrGqTM%3A&imgrefurl>

Dibujo de laminilla cerebelosa según Cajal. Consultada en enero de 2011.

(P74) <http://www.iqb.es/historiamedicina/personas/cajal/cajal1.htm>

Dibujos de la retina según Cajal. Consultada en enero de 2014.

(P75) [http://www.fisterra.com/herramientas/recursos/vancouver/#El Comité Internacional de Directores de Revistas Médicas](http://www.fisterra.com/herramientas/recursos/vancouver/#El%20Comit%C3%A9%20Internacional%20de%20Directores%20de%20Revistas%20M%C3%A9dicas)

Normas sobre publicación en. Consultada en 2011.

(P76) [http://es.wikipedia.org/wiki/Estilo Vancouver](http://es.wikipedia.org/wiki/Estilo_Vancouver)

Normas sobre publicación en. Consultada en 2011.