

Instrumentos para el estudio de la Historia Natural: del microscopio óptico al microscopio electrónico

Instruments for the study of Natural History: from the optical to the electron microscope

Pedro Ruiz-Castell

*Institut d'Història de la Medicina i de la Ciència López Piñero
Universitat de València – CSIC
pedro.ruiz-castell@uv.es*

Palabras clave: Historia Natural, Instrumentos científicos, Técnicas físicas

Key Words: Natural History, Scientific instruments, Physical techniques

RESUMEN

Este artículo se centra en el papel desempeñado por unos pocos objetos en los estudios de Historia Natural desde el siglo XVII hasta mediado el siglo XX. En particular, se presentan varios instrumentos científicos y técnicas físicas que fueron especialmente relevantes para el desarrollo de las prácticas experimentales en el ámbito de las ciencias de la vida. Desde las primeras aplicaciones del microscopio óptico hasta las investigaciones desarrolladas mediante difracción de rayos X o microscopía electrónica; este texto permite mejorar nuestra comprensión acerca de cómo se desarrollaron este tipo de investigaciones en diferentes contextos históricos.

ABSTRACT

This article deals with the role played by few objects in the studies of Natural History from the 17th to the mid-20th century. In particular, several scientific instruments and physical techniques relevant for the development of experimental practices in the life sciences are presented. From the first applications of the optical microscope to the research pursued under X-ray diffraction techniques or the electron microscope, this text helps to better understand how such studies were pursued in different historical contexts.

1. INTRODUCCIÓN

La práctica de la Historia Natural, para el lego en la materia, parece requerir más bien de pocos instrumentos científicos. De hecho, los naturalistas pueden desarrollar un importante trabajo de campo con apenas unos cuantos utensilios baratos y fácilmente manejables. Estos 'proto-instrumentos', tal y como los denominan CALLON & RABEHARISOA (2003), incluirían cámaras, prismáticos, cuadernos de notas, etc. Sin duda, el relativamente fácil acceso a este tipo de objetos habría posibilitado el enorme interés que el cultivo de esta disciplina ha

despertado desde hace siglos entre los aficionados. Sin embargo, el trabajo y la investigación en el ámbito de la Historia Natural van mucho más allá.

En ese sentido, conviene resaltar cómo, durante las últimas décadas, los historiadores de la ciencia han prestado cada vez más atención a la práctica científica. Esto ha supuesto un interés especial por la experimentación y en particular por los instrumentos científicos utilizados para este tipo de actividades, tal y como reflejan numerosas publicaciones recientes, como las de VAN HEKDEN & HANKINS (1994), DASTON (2000) y TAUB (2009, 2011). No en vano, la historia de una disciplina no puede entenderse sin los instrumentos y los objetos que la conforman, integran y condicionan. En el caso concreto de la Historia Natural, tal y como se ha puesto de manifiesto en este volumen, el coleccionismo y las colecciones históricas han jugado y juegan un papel crucial en diferentes tipos de investigaciones, que abarcan desde estudios taxonómicos hasta medioambientales, médicos, bioquímicos, etc. Muchos de los especímenes biológicos y geológicos que las conforman suelen agruparse en colecciones entomológicas, zoológicas, paleontológicas, mineralógicas, petrológicas, etc. Los jardines botánicos, los herbarios y los bancos de semillas también forman parte de ese patrimonio histórico esencial para la práctica de la Historia Natural. Una Historia Natural que debe entenderse en un sentido amplio, en tanto en cuanto ansía el estudio la Tierra y de los distintos reinos de la naturaleza. De ahí que también puedan incluirse entre los instrumentos utilizados para lograr este objetivo diferentes representaciones de la naturaleza, como pueden ser los modelos clásicos o las láminas murales.

No obstante, el papel de lo que tradicionalmente identificamos como instrumentos científicos suele verse relegado a un segundo plano, en muchas ocasiones como resultado del énfasis que se pone en las ideas a la hora de explicar la historia de la ciencia. El objetivo de este texto es justamente el de tratar de adentrar al lector en la cultura intelectual en la que se desarrolló la Historia Natural desde el siglo XVII hasta el XX a través de algunos de los instrumentos científicos más destacados del cultivo de esta disciplina. En particular, se prestará atención a los principales objetos que permitieron desarrollar prácticas experimentales en el ámbito de las ciencias de la vida. En otras palabras, las siguientes líneas pretenden reivindicar la importancia de algunas técnicas y objetos que caracterizaron la práctica de la Historia Natural desde el siglo XVII –en particular en relación con las primeras aplicaciones del microscopio– hasta el desarrollo de nuevas técnicas físicas introducidas en el ámbito de la investigación de las ciencias de la vida durante la primera mitad del siglo XX.

2. EL MICROSCOPIO ÓPTICO

El microscopio es un instrumento óptico que permite observar pequeños objetos, ya sea mediante una única lente (microscopio simple) o mediante la combinación de varias en un tubo rígido (microscopio compuesto). Es difícil datar con exactitud sus orígenes, si bien podemos situarlos en torno a las décadas finales del siglo XVI y las primeras del XVII. La literatura especializada recoge varios nombres ligados a la invención y desarrollo del microscopio compuesto, como el del holandés Zacharias Janssen (1580–1638), si bien es cierto que la invención del microscopio podría haberse realizado coetánea e independientemente por distintos autores, incluso de manera simultánea al telescopio. Sin embargo, su evolución y producción durante la primera mitad del siglo XVII fue más bien escasa, con unas imágenes que proporcionaban experiencias totalmente extrañas

al ser humano, algo que ha sido mostrado por diferentes autores que han trabajado en la historia de la microscopía óptica durante las últimas décadas, como por ejemplo BENNETT (1989), BRADBURY (1989), FOURNIER (1996), McCORMICK (1987) y TURNER (1980, 1989).

Mediado el siglo XVII, el microscopio simple comenzó a convertirse en un instrumento indispensable para los estudios de Historia Natural, en particular para acceder experimentalmente al análisis último del comportamiento de la naturaleza. Algo que fue posible gracias al auge de la filosofía mecanicista, con una visión del mundo natural según la cual todos los fenómenos eran explicables a partir de las interacciones de pequeños corpúsculos que constituían el mundo material. Así pues, los éxitos de las investigaciones de Robert Hooke (1635–1703), Marcello Malpighi (1628–1694), Jan Swammerdam (1637–1680), Nehemiah Grew (1641–1712) y Antony van Leeuwenhoek (1632–1723), realizadas durante las décadas de 1660 y 1670 en el marco de la filosofía corpuscular de la materia y los principios mecanicistas de la fisiología inspirada en Descartes, estimularon el desarrollo del microscopio y de su óptica. De este modo, a partir de la década de 1680, los constructores de instrumentos ópticos transformaron estos primeros microscopios en aparatos fácilmente manejables, desarrollando de forma notable su óptica y prestaciones.

La popularidad del microscopio se vio reforzada con la aparición del microscopio solar en la década de 1740. El éxito de este tipo de aparato se fundamentó en el uso que de él se hizo en diferentes demostraciones públicas, cursos y charlas de Historia Natural, organizadas tanto por sociedades científicas, interesadas en la posibilidad de acercar las maravillas del mundo microscópico a sus contemporáneos, como por los propios constructores de instrumentos científicos, que en muchos casos participaron directamente de esta labor divulgativa. El uso de este instrumento causó un gran impacto entre los distintos observadores que, por vez primera, contemplaban la proyección de una muestra, con un tamaño de la imagen que podía llegar a ser de más de dos metros de longitud y que presentaba colores, movimientos y funciones animales de forma detallada y admirable. Además, la posibilidad de proyectar la imagen para que fuera observada por más de una persona, permitía a los asistentes discutir acerca del espécimen mostrado. De esta manera, el microscopio solar aunó elementos aparentemente tan dispares como la curiosidad, la diversión, la erudición y el espectáculo, favoreciendo la adquisición de un nuevo *status* para la Historia Natural a lo largo del siglo XVIII.

En efecto, la Historia Natural se convirtió en una actividad de prestigio y de gran atractivo para las clases más acomodadas, ubicando al microscopio en un lugar privilegiado de la vida cultural del siglo XVIII. De hecho, la pasión por la Historia Natural a lo largo de esta centuria llevó a la construcción de diferentes tipos de microscopios, como los botánicos, cuyo diseño fue desarrollado de primera mano por diferentes naturalistas como William Withering (1741–1799), o los ideados por Edmund Culpeper (c. 1660–1738), caracterizados por estar sostenidos sobre un trípode. Este último montaje, basado en la sustentación del instrumento sobre tres pilares, permitió resolver algunos inconvenientes del microscopio compuesto, relacionados con el tamaño y los problemas de iluminación.

Durante el siglo XVIII los estudios microscópicos se centraron mayoritariamente en la observación de animales, tal y como ponen de manifiesto los trabajos experimentales sobre Historia Natural de autores como Henry Baker (1698–1774) y John Ellis (1710–1776). En particular, el cada vez mayor interés

por el estudio de los animales de estanque fue un estímulo para el desarrollo del microscopio ‘acuático’, inicialmente concebido por Ellis y posteriormente desarrollado por John Cuff (c. 1708–1772) para adecuarse a las necesidades que requería este tipo de investigación. Por ejemplo, el estudio de los pólipos se benefició de este nuevo diseño de microscopio en el que la lente podía desplazarse fácilmente mediante un brazo, generando un movimiento de la lente llamado ‘acuático’, que es considerado por algunos una especie de predecesor del característico microscopio de disección de gran pletina del siglo XIX. El propio Cuff sería responsable, mediado el siglo XVIII, de la introducción de otro nuevo diseño de microscopio de gran éxito y totalmente construido en latón, con un cuerpo en forma de barra y una plataforma que permitían focalizar la muestra mediante un tornillo de ajuste fino.

3. LA PROFESIONALIZACIÓN Y EL LABORATORIO

Los microscopios se convirtieron en el siglo XVIII en objetos cuyas nuevas formas y diseños se desarrollaron no sólo al servicio de los estudios experimentales en el ámbito de la Historia Natural, sino también para simbolizar un interés cultivado por esta disciplina. Sin embargo, el progreso en la óptica del microscopio durante este período fue más bien escaso. De hecho, las observaciones microscópicas de principios del siglo XIX todavía presentaban serios problemas de aberración cromática y esférica que mermaban seriamente la calidad de la imagen. De ahí que fuera el microscopio simple el más comúnmente empleado por la gran mayoría de naturalistas, dado su mayor poder resolutivo frente al microscopio compuesto, considerado por algunos como un instrumento inútil para la investigación.

La obtención de un mayor poder de resolución del microscopio simple sin apenas aberración, mediante lentes con un alto índice de refracción, tan solo fue posible gracias al empleo de piedras preciosas como diamantes, zafiros o rubís. Ahora bien, el uso de microscopios formados por lentes de joyería encontró importantes obstáculos, tanto por su debilidad estructural inherente como por el desarrollo de una lente doble formada por dos lentes plano-convexas, tal y como pusieron de manifiesto los trabajos de William Hyde Wollaston (1766–1828) y Joseph Jackson Lister (1786–1869). A partir de la década de 1830, la precisión del microscopio pudo aumentar gracias a unas combinaciones de lentes capaces de facilitar altas resoluciones y cancelar la aberración cromática (debida a la diferente refracción que sufren los rayos incidentes según su color) y la esférica (que tiene su explicación en la mayor refracción experimentada por los rayos que inciden cerca de los bordes de la lente frente a los que lo hacen por el centro).

En un contexto de paulatina profesionalización de la actividad científica, esta innovación favoreció de manera notable el desarrollo del microscopio compuesto frente al simple, que comenzó a quedar relegado a un segundo plano como mero aparato de disección. La necesidad de mejorar la resolución de las imágenes permitió a los constructores de instrumentos introducir mayores aumentos y más variedades de accesorios, como monturas más estables, nuevos mecanismos de enfoque, etc. Sin duda, una gran oportunidad para desarrollar tanto el instrumento como su mercado, yendo más allá de los círculos aficionados para pasar a convertirse gradualmente en una herramienta profesional de zoólogos, médicos, geólogos, etc.

La importancia del microscopio como un instrumento científico para la investigación aumentó de forma considerable durante la segunda mitad del siglo

XIX. De hecho, el desarrollo de la teoría celular—elaborada en el marco académico del nuevo modelo universitario alemán del siglo XIX— estuvo inevitablemente ligado al perfeccionamiento del microscopio óptico, mediante la corrección de las lentes y la utilización de la gota pendiente. En este contexto se enunció el concepto de célula como unidad morfológica y funcional para las plantas y los animales, desarrollándose un programa de investigación sistemática acerca de los seres vivos basado en esta idea.

Poco a poco, a lo largo del siglo XIX, se consolidó el laboratorio como un espacio central para la investigación en el ámbito de las ciencias de la vida. Un lugar en el que realizar experiencias y medidas en condiciones idóneas de control de humedad, temperatura, asepsia, ruidos, vibraciones, etc. Así pues, durante esta centuria la Historia Natural enraizó con una tradición experimental que permitió el desarrollo de la biología experimental en ámbitos como los de la fisiología, la bioquímica, la microbiología y la biofísica, convirtiendo el laboratorio en un espacio privilegiado para el estudio de la vida y de sus múltiples manifestaciones. Un espacio en el que el microscopio jugaría un papel central.

En ese sentido, si bien en un principio la única forma de comparar observaciones microscópicas se reducía a la consulta de los dibujos realizados de las muestras o al envío de los propios especímenes estudiados, el desarrollo de la fotografía y de nuevas técnicas de impresión permitió una forma más rápida y eficiente de comunicar y comparar resultados de un modo que parecía neutral y objetivo. Fue William Henry Fox Talbot (1800–1877) quien obtuvo con éxito la primera fotomicrografía o fotografía microscópica permanente en 1839, gracias a un microscopio solar. Pese a los intentos por desarrollar procesos fotográficos de calotipo y daguerrotipo—e incluso de colodión húmedo— aplicados a la microscopía, la fotografía microscópica se convirtió en una realidad a partir de finales de la década de 1850 gracias a la aplicación de los procesos en seco (albúmina). Unas técnicas de microfotografía que resultaron fundamentales, junto con las de tinción (en especial con nitrato de plata), para el estudio de estructuras nerviosas que desarrollaron autores como Santiago Ramón y Cajal (1852–1934) (LÓPEZ PIÑERO, 2006).

En este contexto, reforzados por las teorías bacteriológicas de las diferentes enfermedades, los cursos médicos que requerían de una instrucción en laboratorios crearon un nuevo campo para las aplicaciones del microscopio, principalmente a través de los laboratorios de patología en los hospitales. La respuesta a este nuevo mercado fue liderada por diferentes compañías europeas, que establecieron métodos de producción masiva de microscopios económicos adecuados a la nueva demanda. De este modo, el cambio de siglo supuso la crisis de la primacía hasta entonces desempeñada por los fabricantes de microscopios británicos, incapaces ahora de satisfacer las nuevas necesidades técnicas y de diseño, para dar paso a firmas como las alemanas *Zeiss* y *Leitz*, conocida así a partir de 1869, tras hacerse Ernst Leitz (1843–1920) con el Instituto Óptico de Kellner, o la norteamericana *Bausch & Lomb*, fundada por Jacob Bausch (1830–1926) y Henry Lomb (1828–1908), cuyo primer microscopio data de 1855. Estas casas lideraron la producción de instrumentos ópticos al adecuarse su producción a un nuevo contexto histórico caracterizado por el declive de la investigación aficionada y el paulatino aumento de las aplicaciones profesionales del microscopio en campos como la histología, la patología, la bacteriología, la citología y, en menor medida, las ciencias de los materiales.

En definitiva, en el ámbito de las ciencias de la vida, y en particular en el de la biomedicina, el microscopio se convirtió en una herramienta central,

tanto para la investigación como para la instrucción en universidades y centros de investigación. También en los laboratorios de fisiología, creados durante la segunda mitad del siglo XIX y dotados de cada vez más instrumentos físicos y ópticos, así como de aparatos eléctricos de medida e instrumentos de registro gráfico (LENOIR, 1986; CHADAREVIAN, 1993): laboratorios en los que podían encontrarse desde termómetros destinados al estudio de fenómenos relacionados con la calefacción hasta aparatos de registro y análisis de diferentes movimientos del cuerpo humano, como los esfigmógrafos y cardiógrafos dedicados al estudio de la circulación sanguínea, los hemodromógrafos, hemotacómetros y hematímetros para analizar la composición de la sangre, los neumógrafos y aparatos varios para facilitar el análisis de gases con el objeto de estudiar la respiración, los quimógrafos y manómetros para medir la presión arterial, los dinamómetros y diferentes aparatos eléctricos para describir el funcionamiento del sistema muscular, etc.

Convertido en una herramienta central para el estudio bacteriológico y patológico de las enfermedades, el desarrollo del microscopio se habría de enfrentar al problema, confirmado por los estudios de Ernst Abbe (1840–1905), del límite de resolución óptica de las lentes, cercano a las dos décimas de micrómetro. El empeño de los investigadores por ir más allá de esos límites llevó al diseño de nuevos instrumentos, algunos de ellos capaces de iluminar partículas de hasta cinco nanómetros, como en el caso de los llamados ultramicroscopios, basados en el trabajo desarrollado durante los primeros años de la década de 1900 por el físico alemán Henry Friedrich Wilhelm Siedentopf (1872–1940) y el químico austriaco Richard Adolph Zsigmondy (1865–1929) para el estudio de partículas coloidales. Este instrumento contaba con un sistema de iluminación que consistía en una fuente de luz que, al atravesar el sistema de lentes condensadoras, se proyectaba sobre una rendija, cuya apertura podía regularse, de modo que permitía iluminar coloideos gracias al intenso haz de luz orientado en posición perpendicular al eje óptico del microscopio, de forma que al ser deflectada la luz incidente, los movimientos de las partículas podían verse como destellos en contraste con el fondo oscuro, merced a lo que se conoce como efecto Tyndall.

4. NUEVAS TÉCNICAS AL SERVICIO DE LAS CIENCIAS DE LA VIDA

La primera mitad del siglo XX se caracterizó por la aplicación de diferentes técnicas, principalmente físicas, al ámbito de las ciencias de la vida, con el fin último de obtener la mayor cantidad de información posible para poder comprender en profundidad las estructuras biológicas. Buenos ejemplos son la difracción de rayos X, la tecnología de radar, el uso de isótopos radiactivos, la ultracentrifugación y la microscopía electrónica. En particular, CHADAREVIAN (2002) ha mostrado cómo el desarrollo de la biología molecular en Gran Bretaña tras la Segunda Guerra Mundial se construyó a partir de tres tradiciones experimentales existentes que trabajaban en los efectos de la radiación sobre el cuerpo y los usos de isótopos radiactivos, así como técnicas de difracción de rayos X y tecnología de registro desarrollada a partir de la investigación de radar.

La importancia que paulatinamente adquirieron los instrumentos asociados a estas técnicas debe entenderse a partir del contexto específico de las primeras décadas del siglo XX, en el que diversos genetistas angloamericanos exploraron la idea del gen unitario. De hecho, lo que acabó conociéndose como genética clásica surgió en la década de 1910, gracias a los esfuerzos del biólogo americano Thomas Hunt Morgan (1886–1945) por conectar las leyes de la herencia y la

conducta de los cromosomas en el proceso de la fertilización. Junto a sus discípulos, Morgan fue capaz de crear correlaciones que mostraban dónde estaba situado aproximadamente cada gen en su cromosoma.

Sin embargo, entre los puntos débiles de la genética clásica se encontraba su falta de explicación acerca de la esencia del código genético. Elucidar la naturaleza de este código requería ideas y técnicas nuevas. Hacía falta información para establecer cómo una sustancia química podía duplicarse con la precisión requerida para poder transmitir copias idénticas de una célula a otra. Y se necesitaba toda un área nueva de investigación para conectar los procesos bioquímicos que tienen lugar en los genes en las primeras etapas del desarrollo embrionario. ¿Cómo hacía el código químico para copiarse a sí mismo y, en diferentes circunstancias, desencadenar una cascada de transformaciones químicas complejas que influirían en el modo como se formaban las células del embrión?

Las técnicas físicas pronto se erigieron en herramientas fundamentales para profundizar en este tipo de cuestiones. Tal y como hemos mencionado, podemos encontrar diferentes ejemplos de técnicas e instrumentos aplicados a los estudios biomédicos, como la ultracentrífuga desarrollada en 1926 por Theodor Svedberg (1884–1971), que permitía separar moléculas biológicas de gran tamaño. Este instrumento, que como muestra CREAGER (2002) fue empleado para estudiar la forma y el tamaño de moléculas en solución –como proteínas, carbohidratos y algunos polímeros–, tuvo diferentes significados para distintos grupos de científicos, lo que inevitablemente hizo que en su construcción se prestara atención a diferentes aspectos y que su diseño variara en función del significado que se le otorgaba a este instrumento, tal y como ELZEN (1986) ha demostrado. Otra técnica destacada, sobre la que han realizados trabajos desde una perspectiva histórica algunos autores como KAY (1988), fue la electroforesis, con la que se podían separar proteínas (y posteriormente fragmentos de ADN), desarrollada por Arne Tiselius (1902–1971), discípulo de Svedberg.

La difracción de rayos X, aplicada por William Henry Bragg (1862–1942) y su hijo William Lawrence Bragg (1890–1971), habría de jugar también un papel crucial. El efecto de la difracción de los rayos X al atravesar estructuras cristalinas había sido observado en la Universidad de Múnich por un equipo dirigido por Max von Laue (1879–1960). Este fenómeno sería equivalente al modo en que la luz sufre una difracción en el experimento de la doble rendija, pero con una longitud de los rayos X mucho menor y un espaciamiento entre las capas de átomos que forman un cristal adecuado para observar semejante efecto. Sin embargo, estos investigadores no fueron capaces de deducir inmediatamente detalle alguno sobre cómo se relacionan estas pautas con la estructura de los cristales a través de los que experimentan su difracción los rayos X.

Tras discutir y trabajar el problema con su padre, William Lawrence Bragg descubrió las reglas que hacían posible predecir exactamente dónde se producirían las zonas brillantes en una pauta de difracción cuando un haz de rayos X con longitud de onda determinada choca con un ángulo de incidencia conocido contra una red cristalina que tiene un espaciamiento concreto entre sus átomos. Esta relación, conocida como la ley de Bragg, hizo posible determinar la longitud de onda de los rayos X a partir del espaciamiento de las zonas brillantes obtenidas en el espectro (y conociendo el espaciamiento entre los átomos dentro del cristal), así como averiguar el espaciamiento de los átomos del cristal a partir de la longitud de onda de los rayos X, si bien la interpretación de los datos resultaba tremendamente complicada para estructuras orgánicas complejas. Desde un punto de vista técnico, la mayor dificultad radicaba en obtener buenos cristales y

buenas fotografías de difracción de rayos X de los especímenes a estudiar, para tratar de dilucidar así las posiciones atómicas.

La aplicación de nuevas técnicas físicas al ámbito de las ciencias de la vida estaba motivada, entre otras razones, por la convicción de que las funciones fisiológicas de la célula podían entenderse exclusivamente a partir de la estructura dimensional de sus componentes. Ahora bien, lejos de aceptar los nuevos instrumentos asociados a estas técnicas de manera inmediata, algunos científicos se mostraron, en un primer momento, escépticos en relación con los posibles usos de algunas de estas nuevas técnicas, como en el caso del microscopio electrónico, un instrumento originalmente ideado para realizar estudios de óptica electrónica y cuyas aplicaciones se adivinaban, en sus inicios, en el ámbito de las ciencias de los materiales.

Con todo, pese a las reticencias originalmente expresadas por muchos científicos, la aparición del microscopio electrónico en la década de 1930 habría de cambiar radicalmente la naturaleza de los estudios microscópicos, dando la oportunidad a los investigadores médicos de escrutar las estructuras más pequeñas hasta entonces vistas, tal y como han explicado RASMUSSEN (1996, 1997) y STRASSER (2002, 2006). El primer microscopio electrónico de transmisión fue construido por Max Knoll (1897–1969) y Ernst Ruska (1906–1988) en Berlín. Basado en la interacción de una muestra con un haz de electrones que se enfoca mediante un sistema de lentes electromagnéticas, su introducción en el ámbito de las ciencias de la vida fue inicialmente concebida como una manera de completar los estudios de difracción de rayos X que tanto éxito tenían.

En general, podemos diferenciar dos tipos de microscopios electrónicos: los de transmisión, en los que un haz de electrones pasa a través del espécimen y forma una imagen sobre una pantalla fluorescente o una película fotográfica (los electrones son deflectados por los átomos del interior del espécimen sin absorción alguna, de modo que crean un patrón de sombras en función de la mayor o menor transmisión de electrones), y los de barrido, basados en el paso de un haz de electrones sobre la superficie del espécimen de forma regular, permitiendo la reconstrucción posterior de la imagen de la superficie de la muestra (la interacción del haz con la superficie del espécimen produce diferentes intensidades en los electrones que son registrados por un detector situado cerca de la muestra). Todos ellos tienen una fuente de electrones, una columna que ha de recorrer linealmente el haz de electrones, lentes electromagnéticas a lo largo de la columna, así como bombas de vacío para el alto grado de vacío que se necesita y componentes electrónicos para mantener constante el voltaje del haz y la corriente precisa para el funcionamiento de las lentes. Los microscopios electrónicos dependen por tanto de la propiedad que tienen los campos magnético y eléctrico de alterar el camino que recorre el haz de electrones, según las leyes de la óptica.

La primera micrografía electrónica de un espécimen biológico fue obtenida por Ladislaus Laszlo Marton (1901–1979) en abril de 1934. Poco después se iniciaron en Norteamérica y diferentes países de Europa diversos proyectos independientes vinculados al desarrollo del microscopio electrónico. De hecho, durante esta década de 1930 y la siguiente comenzó la producción, con fines comerciales, de microscopios electrónicos con la aparición de los primeros modelos por parte de las casas alemanas *Siemens & Halske* y *Allgemeine Elektrizität Gesellschaft* (AEG) y posteriormente la norteamericana *Radio Corporation of America* (RCA). Mediado el siglo XX, los modelos comerciales eran capaces de obtener resoluciones de más de cinco nanómetros e incluso algunos, en las condiciones más favorables, de dos nanómetros. A pesar de algunas

limitaciones por la aberración esférica presente en lentes tanto magnéticas como electrostáticas, el éxito de las observaciones bajo el microscopio electrónico terminó por convertir, durante la segunda mitad del siglo XX, a este instrumento en todo un símbolo del progreso científico y un objeto central de la nueva biología molecular.

BIBLIOGRAFÍA

- BENNETT, J. A. 1989. The social history of the microscope. *Journal of Microscopy*, **155**: 267–280.
- BRADBURY, S. 1989. *An introduction to the optical microscope*. 86 págs. Oxford University Press – Royal Microscopical Society, New York.
- CALLON, M. & RABEHARISOA, V. 2003. Research ‘in the wild’ and the shaping of new social identities. *Technology in Society*, **25**: 193–204.
- CHADAREVIAN, S. DE. 1993. Graphical Method and Discipline: Self-Recording Instruments in Nineteenth-century Physiology. *Studies in the History and Philosophy of Science*, **24**: 267–291.
- 2002. *Designs for Life. Molecular Biology after World War II*. 423 págs. Cambridge University Press. Cambridge.
- CREAGER, A. N. H. 2002. *The Life of a Virus. Tobacco Mosaic Virus as an Experimental Model, 1930–1965*. 398 págs. The University of Chicago Press. Chicago.
- DASTON, L. Ed. 2000. *Biographies of Scientific Objects*. 307 págs. The University of Chicago Press. Chicago.
- ELZEN, B. 1986. Two Ultracentrifuges: A Comparative Study of the Social Construction of Artefacts. *Social Studies of Science*, **16**: 621–662.
- FOURNIER, M. 1996. *The Fabric of Life. Microscopy in the Seventeenth Century*. 267 págs. The John Hopkins University Press. Baltimore.
- KAY, L. E. 1988. Laboratory Technology and Biological Knowledge. The Tiselius Electrophoresis Apparatus, 1930–1945. *History and Philosophy of the Life Sciences*, **10**: 51–72.
- KUNKLE, G. C. 1995. Technology in the Seamless Web: “Success” and “Failure” in the History of the Electron Microscope. *Technology and Culture*, **36**: 80–103.
- LENOIR, T. 1986. Models and instruments in the development of electro-physiology 1845–1912. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, **17**: 1–54.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M. 2006. *Santiago Ramón y Cajal*. 399 págs. Publicacions de la Universitat de València. Valencia.
- MCCORMICK, J. B. 1987. *Eighteenth Century Microscopes. Synopsis of History and Workbook*. 185 págs. Science Heritage. Lincolnwood.
- RASMUSSEN, N. 1996. Making a machine instrumental: RCA and the wartime origins of biological electron microscopy in America, 1940–1945. *Studies in History and Philosophy of Science*, **27**: 311–349.
- 1997. *Picture control. The electron microscope and the transformation of biology in America, 1940–1960*. 436 págs. Stanford University Press. Stanford.
- STRASSER, B. J. 2002. Totems de laboratoires, microscopes électroniques et réseaux scientifiques: L’émergence de la biologie moléculaire à Genève (1945–1960). *Revue d’Histoire des Sciences*, **55** : 5–43
- 2006. *La fabrique d’une nouvelle science. La biologie moléculaire à l’âge atomique, 1945–1964*. 450 págs. Olschki. Florence.
- TAUB, L. Coord. 2011. Focus: The History of Scientific Instruments. *Isis*, **102**: 689–729.
- TAUB, L. Ed. 2009. On scientific instruments. *Studies in History and Philosophy of Science*, **40**: 337–438.
- TURNER, G. L’E. 1980. *Essays on the History of the Microscope*. 245 págs. Senecio Publishing. Oxford.
- 1989. *The Great Age of the Microscope*. 379 págs. Adam Hilger. Bristol & New York.
- VAN HEKDEN, A. & HANKINS, T. L. Eds. 1994. Instruments. *Osiris*, **9**: 1–250.

