

8. El desarrollo industrial durante el siglo XIX. Importancia de la tecnología en el desarrollo de la biología moderna: el caso de la microscopía

Aunque en muchos campos del saber se habían alcanzado altas cimas durante la Ilustración, consideradas imposibles de superar por los propios científicos, durante el siglo XIX se produjeron avances sustanciales en todos los ámbitos del conocimiento; tanto en los aspectos cualitativos como en la cantidad de personas dedicadas, con creciente éxito, al cultivo de la ciencia. Una actividad científica que dejó de ser un empeño individual y pasó a convertirse en esfuerzo colectivo, con el apoyo de instituciones y sociedades. Las aplicaciones tecnológicas de una investigación científica, cada día más compleja, llenaron y modificaron sustancialmente la vida diaria. A partir de este tema iremos viendo cómo se desarrollaron las distintas disciplinas biológicas hasta nuestros días, lo que dará pie a tratar cuestiones clave para la enseñanza de la biología moderna.

En el tránsito del siglo XVIII al XIX hubo un cambio muy fuerte y unas nuevas concepciones científicas y sociales, sin embargo, la ciencia tuvo una continuidad. El siglo XVIII acabó con el nacimiento de la Revolución Industrial y el ascenso de Napoleón y el XIX comenzó con la derrota de este y el dominio de Gran Bretaña a nivel global, la pérdida de la práctica totalidad del Imperio Español y la transformación de sus colonias en jóvenes naciones, con la vista puesta en los referentes de la Revolución francesa de 1789 y el modelo de independencia de los Estados Unidos de América.

El XIX es el siglo de la ciencia, de la industrialización y la colonización en busca de grandes recursos para la industria. Los imperios coloniales llegaron a su máxima expresión con el impune reparto de África tras la Conferencia de

Berlín de 1884-85, verdadera válvula de escape de los conflictos entre potencias europeas surgidos por el afán de ampliar recursos y poder. Las ideas y los postulados del discurso paternalista colonial y civilizador ocultaban las reales intenciones: el motor económico y alimentar la industria de las grandes potencias.

Por tanto, se presenta un nuevo panorama de cara a la explotación de amplios territorios principalmente por británicos, franceses y alemanes, pero también por Holanda, Bélgica y, a partir de 1898, con Estados Unidos ocupando los restos de las posesiones españolas en el Caribe y en Filipinas. El desarrollo científico y tecnológico pasa a ser la columna vertebral de la economía, existiendo una estrecha relación ciencia, industria y beneficio para las clases altas.

En lo referente a la ciencia, se acentúa mucho más la tendencia a la institucionalización, con una disciplina más organizada, reglada y profesionalizada. Al científico se le empieza a percibir como un profesional y no un aficionado, cuyos ingresos ya empezaban a depender de instituciones públicas o de empresas para la mejora o innovación de determinados conocimientos. Y es, además, el momento en el que se reformulaba una institución preexistente como columna vertebral del proceso de innovación científica, la universidad. La universidad, desde que surge en la Edad Media hasta el siglo XVIII, había sido una estructura prácticamente docente y es a partir del siglo XIX cuando el modelo cambiará en algunos países de forma radical.

8.1. Los distintos modelos de instituciones de la ciencia

En el primer tercio de siglo XIX, a lo largo del periodo del Romanticismo, surgió la biología como ciencia que estudia la vida. Se produjo una profundización en la escala temporal, la dimensión del tiempo en biología y geología, la vida y su entorno. También hubo aportaciones significativas del rol de la Química en la constitución y las funciones de los seres vivos.

En este periodo, el centro de producción científica se situó en Francia, un país que vivió un convulso cambio de siglo con la Revolución francesa. Durante este tiempo, se produjo la caída del antiguo régimen monárquico absolutista, el surgimiento de un estado liberal y el periodo napoleónico, que terminó debido a la presión internacional ejercida por las monarquías europeas, como Gran Bretaña, Rusia, Prusia y Austria.

En este periodo, el sistema científico francés cambió sin destruir lo que existía previamente. Por ejemplo, antes de la Revolución, funcionaban acade-

mias bajo el patronazgo real que pasaron a depender del Estado. En el caso del Jardín y el Gabinete de Historia Natural del Rey, se transformaron en el Jardín de Plantes y el Museo Nacional de Historia Natural respectivamente. Aunque aparentemente se trató solo de un cambio de nombres, en realidad fue mucho más significativo, ya que estas instituciones quedaron bajo la administración estatal. En el caso del museo, se establecieron 12 cátedras, y en ellas comenzaron a trabajar destacados profesores como Cuvier y Saint-Hilaire.

Al mismo tiempo, dentro del entramado de instituciones francesas preexistentes, comenzaron a surgir nuevas entidades. Por ejemplo, en 1794 se fundó la École Polytechnique, de la cual egresaron altos funcionarios destinados a la administración pública. Por su parte, la antigua Academia Real de Ciencias se transformó en la Academia Nacional de Ciencias y Artes, manteniendo a su personal original, pero incorporando nuevas secciones dedicadas a la medicina y la agricultura.

En el caso de España, se produjo la destrucción del entramado científico tras la ocupación francesa: la desaparición de jardines botánicos, la decadencia del Real Jardín Botánico de Madrid, la decadencia industrial y el exilio de liberales llamados afrancesados, entre los que había notables científicos.

Sobre la universidad en Francia, se observa un cambio sustancial, en la época napoleónica, definiéndose un nuevo tipo de institución, muy reglada, jerárquica y centralizada, orientada a la formación de profesionales y a la concesión de grados académicos, es el mismo modelo que a lo largo del siglo será el que inspire al caso español. Orientado a formar a profesionales para las funciones del estado.

En este modelo no se hacía referencia al papel científico, que quedaba concentrado en instituciones como el Museo Nacional de ciencias naturales o los Jardines Botánicos, quedando la componente técnica en las escuelas politécnicas de ingeniería. Nos interesa enfatizar este modelo porque, a medio plazo, determinó un proceso de decadencia de la universidad francesa, que no era una universidad científica.

8.1.1. Modelo universitario francés

El sistema científico francés no tenía la universidad como su epicentro, un ejemplo prototípico es el de Louis Pasteur, él es un investigador vinculado a la Escuela Normal de Maestros, Pasteur hizo una labor magnífica para consolidar una disciplina nueva, como es la microbiología, su trabajo tuvo sus frutos y

terminó desarrollando su labor en un instituto de investigación laureado con su nombre.

La crisis del modelo universitario y científico francés coincide con la derrota francesa en la guerra franco-prusiana de 1870. El joven Estado prusiano adoptó un sistema de ciencia y tecnología potente como para imponerse sobre el modelo francés en muchos campos tecnológicos, también en el militar.

A partir de ese suceso traumático, los franceses iniciaron una sistemática renovación de sus instituciones científicas; es algo parecido a lo que sucedió en la España de final de siglo XIX. Tras la crisis de 1898, con la pérdida de la guerra hispanoamericana entre España y Estados Unidos, el país se sumió en una crisis profunda, algo similar a lo que estaba pasando en Francia, y el diagnóstico era claro: el poder científico y tecnológico superior se traduce en un poder industrial y bélico. La respuesta, en ambos casos, fue la de renovar el sistema de ciencia y apostar por reformas.

8.1.2. Modelo universitario británico

El otro modelo universitario vigente en Europa era el británico, un modelo universitario poco rígido y flexible. Algunos de los grandes científicos británicos del XIX son *amateurs*, gente con curiosidad científica que hizo grandes aportaciones pero que no estaba integrado en el sistema académico de las instituciones universitarias, como fue el caso de Charles Darwin, bien posicionado en sociedades científicas como la Sociedad Linneana de Londres o la Royal Society.

Si hubiera que citar dos universidades británicas, nos acordaríamos de Oxford y Cambridge, ambas con origen medieval y con estructuras propias de aquella época: no contaban con facultades, en su lugar había *colleges* (colegios), y en estos, profesores de distintas disciplinas y estudiantes que podían, y pueden a día de hoy, establecer su propio itinerario por distintos colegios y dependencias de la universidad buscando sus especialidades.

Es un sistema muy peculiar, muy distinto de lo que estamos acostumbrados, nada jerarquizado o estructurado ya que no se buscaba formar profesionales, sino «caballeros». Frente a estas universidades tradicionales surgieron, por necesidad, los institutos mecánicos y las *red brick universities* en ciudades industriales, como Mánchester o Liverpool, con un nuevo modelo centrado en la formación tecnológica para suplir de profesionales al mundo industrial.

Cuando pensamos en la ciencia del siglo XIX en Gran Bretaña pensamos en científicos de renombre que aparecieron en otros marcos al margen de las universidades, hablamos de otras instituciones o sociedades. En este sentido, por ejemplo, en 1861 nace la asociación británica para el avance de las ciencias que es la primera y más importante sociedad de ese tipo que nace en el mundo contemporáneo, es solo una asociación, y no tiene el apoyo estatal, es privada, pero es la institución que publicó la revista *Nature*, probablemente la revista científica más importante del mundo contemporáneo.

Esta asociación británica para el avance de las ciencias se terminó constituyendo en una especie de órgano asesor y director de la política científica británica durante el siglo XIX y parte del siglo XX, definiendo los ámbitos en los que debe investigarse por ser prioritarios para los intereses del país.

Al mismo tiempo que surge esta asociación, van apareciendo otras pequeñas más específicas, llegando a formar un entramado de instituciones más atomizado y no reglado, a diferencia de países como Francia. Así que encontramos dos modelos societarios, por un lado, aquellas grandes sociedades históricas y, por otro, pequeñas sociedades temáticas o especializadas.

Si los franceses protagonizaron el desarrollo científico de la primera mitad de siglo XIX, los ingleses, con su red societaria difusa y heterogénea de instituciones, dominaría la ciencia del 1830 al 1870; hacia finales de 1880 tomarán el relevo en el protagonismo dos nuevas potencias: Alemania y los emergentes Estados Unidos. Es importante observar cómo el centro de gravedad científico va a ir cambiando con el tiempo. Plantear esta cuestión en el presente puede ser arriesgado, ya que el mundo está mucho más globalizado, pero podemos saber cuáles son las naciones que más invierten en ciencia y tecnología.

8.1.3. El modelo alemán: universidad, seminario y empresa

Alemania, en el siglo XIX, se constituye como una nación muy joven, aunque culturalmente ya existía una cierta conciencia común de los pueblos germanos.

La capacidad científica y tecnológica de Alemania se consolidó de forma arrolladora, su desarrollo se basó en un sistema educativo que favoreció las enseñanzas científico-técnica, siendo la investigación la columna vertebral del sistema universitario.

Evidentemente, la universidad también otorgaba títulos académicos, pero lo realmente importante fue que introdujo la investigación como eje de acción prioritario en el mundo universitario. En el nuevo modelo de sistema univer-

sitario alemán, Wilhelm von Humboldt, hermano de Alexander von Humboldt, tuvo gran relevancia ya que creó la Universidad de Berlín bajo los principios de la democratización del saber y de la formación. En torno a esta nueva concepción de universidad se establecieron nuevas figuras de profesorado, como el *privatdozent*, acreditado para ejercer la docencia e investigación en la universidad. Este mundo universitario mantuvo un contacto permanente con la innovación científica, constituyendo estructuras como los seminarios y los institutos tecnológicos, dotados de laboratorios.

El caso de la empresa Zeiss, en la ciudad de Jena, resulta especialmente relevante, ya que destinó una parte significativa de sus recursos al Instituto de Óptica, dirigido por un profesor universitario. Esta colaboración generó una sólida interrelación entre el ámbito industrial y el universitario. Por un lado, permitió la mejora en la dotación de laboratorios; por otro, impulsó la formación de futuros especialistas, convirtiéndose en un modelo pionero de equilibrio entre ciencia aplicada y desarrollo tecnológico.

Este enfoque fue adoptado, en cierta medida, por los Estados Unidos, que se fortaleció notablemente con la llegada de numerosos académicos extranjeros, especialmente después de la Segunda Guerra Mundial. Este modelo estableció un vínculo estrecho entre el sector económico y las universidades, fomentando relaciones directas con el mundo empresarial y el apoyo de mecenazas, tanto en la financiación como en la gobernanza de las instituciones académicas. Un ejemplo claro de esta conexión es Silicon Valley, cuya existencia no habría sido posible sin las universidades que proveyeron de profesionales a las empresas de la región y con las que mantuvieron una colaboración estrecha y constante.

Es importante destacar que, en este contexto, el sistema científico adquirió una creciente complejidad. Los institutos tecnológicos desempeñaron un papel crucial al tender puentes entre el ámbito académico y la investigación aplicada, además de promover el desarrollo tecnológico orientado a responder a necesidades sociales. Entre los ejemplos más emblemáticos se encuentran el Instituto Pasteur en Francia (1887) y el Instituto Real Prusiano para Enfermedades Infecciosas (Instituto Robert Koch) (1891).

8.2. La tecnología accesoria a la biología moderna

Una vez establecido el marco institucional en el que se van a desarrollar las disciplinas biológicas –espacio, contexto académico, social y económico–,

abordamos el aspecto tecnológico que se desarrollará en la denominada Segunda Revolución Industrial.

Si en el siglo XVIII fue la máquina de vapor la novedad tecnológica, en el XIX las mejoras de esta fueron las que tuvieron el protagonismo, junto al desarrollo de otras muchas tecnologías. La metalurgia introdujo el uso masivo del hierro y el acero en la cultura occidental, con grandes estructuras metálicas como ferrocarriles, estaciones, puentes y edificios, como la torre diseñada por Eiffel en París con motivo de la Exposición Universal de 1889. Al mismo tiempo que esa industria metalúrgica florecía, se creaba toda una industria química y farmacéutica, con la elaboración de colorantes y medicamentos sintéticos, que tendrán gran influencia en la microscopía.

Siguiendo la máxima baconiana, la ciencia no solo precisó de teorías, sino también de instrumentos. El desarrollo de los microscopios compuestos modernos requirió casi dos siglos de perfeccionamiento y, entre el siglo XIX y principios del XX, la óptica logró poner al servicio de la investigación biológica una serie de herramientas que abrieron nuevas perspectivas en áreas como la bacteriología, la teoría celular, la histología y la fisiología. Sin los espectaculares avances en la tecnología del microscopio, Pasteur nunca habría examinado con tanto detalle los microorganismos responsables de las enfermedades infecciosas o los beneficiosos que causaron las fermentaciones. Tampoco se hubiera desarrollado la teoría celular ni la anatomía patológica.

La construcción de microscopios se convirtió en una prerrogativa esencial para el desarrollo de la biología. Surgieron nuevos talleres especializados, dirigidos por ópticos con formación teórica, que trabajaron en colaboración con las universidades. A partir de 1825, se comercializaron microscopios con lentes acromáticas, las cuales ya se habían utilizado en telescopios astronómicos más de cincuenta años antes. El primer microscopio de este tipo fue construido en Inglaterra por un oficial de caballería, en 1791.

8.3. La microscopía en la Inglaterra de principios de siglo

La corrección de la aberración esférica mediante lentes aplanáticas fue inventada por el óptico aficionado Joseph Jackson Lister hacia 1830 y se difundió rápidamente. En 1826, Joseph Jackson Lister y sus colaboradores fabricaron un microscopio compuesto (figura 34). Este instrumento, con su soporte rígido para el tubo de la lente, eliminó los problemas de distorsión a gran aumento que habían limitado a los observadores desde el siglo XVII.

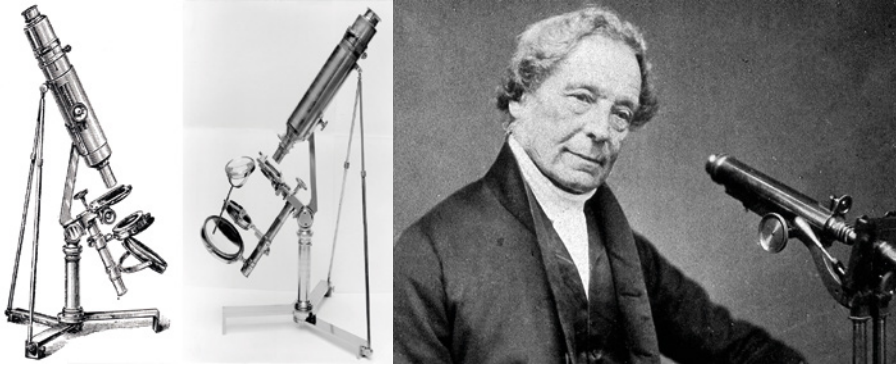


Figura 34. A la izquierda, dibujo esquemático y fotografía del microscopio acromático diseñado por Joseph J. Lister, padre del cirujano Joseph Lister (1827-1912). A la derecha, retrato de Lister posando con un microscopio de su invención. Fuente: Wellcome Collection.

La obra de Lister se publicó en 1830 y, a principios de la década de 1840, se fundó la primera sociedad especializada en microscopía, la Microscopical Society of London. Entre los miembros de esta sociedad se encontraban botánicos, naturalistas, médicos y anatomistas. El propósito de la sociedad era «el avance de la ciencia del microscopio» y se centró en atender las necesidades urgentes de los investigadores microscópicos, sin convertirse en una subdivisión de ninguna otra agrupación científica.

Lister y Tulley no fueron los únicos que intentaron desarrollar objetivos mejorados. En Centroeuropa, varios fabricantes de instrumentos habían experimentado, de forma similar, con diversas combinaciones de lentes durante la década de 1820. Chevalier, óptico parisino, había fabricado varios objetivos corregidos en 1824, al igual que el alemán Josef von Fraunhofer y el italiano Amici, también reconoció la importancia del espesor del cubreobjetos.

Hacia 1840, el poder de resolución de los microscopios utilizados habitualmente en los laboratorios se situaba en torno a la micra, un orden de magnitud que permitió la primera exploración sistemática del dominio celular. A partir de entonces, los instrumentos se caracterizaron por unas prestaciones definidas objetivamente (aumento, campo de visión, poder de resolución, grado de aberración) y su correcta utilización exigía una formación idéntica para todos los usuarios. En consecuencia, el objeto técnico imponía su propia lógica: utilizando un soporte instrumental similar para «producir» hechos científicos. A través del conocimiento microscópico de los organismos, la investigación del mundo natural se promovió de una manera sin precedente.

Mientras que los fabricantes ingleses se concentraron en producir costosos instrumentos para los naturalistas, los alemanes produjeron excelentes microscopios de bajo precio que incluso un estudiante se podía permitir. Se convirtieron en la referencia comercial en el mundo de la microscopía. Reputados científicos recomendaban una serie de fabricantes en sus trabajos sobre el microscopio y su aplicación. Leopold Dippel²¹⁰, en su faceta de botánico, dedicaba un espacio a los principios para la elección de un microscopio, siendo sus comentarios una referencia importante para el mundo educativo e investigador.

En Wetzlar y, posteriormente, en Jena, se establecieron talleres destacados por su ingenio y su capacidad organizativa. Gracias a una mano de obra confiable y altamente especializada, estos talleres se transformaron en empresas de renombre mundial. En 1851, Kellner presentó el primer microscopio fabricado en Wetzlar, que pronto se convirtió en un potente instrumento de investigación y en el producto principal de la empresa. No pasó mucho tiempo antes de que los microscopios Kellner llegaran a institutos de enseñanza y centros de investigación. Entre los profesores de la Universidad de Giessen que utilizaron estos instrumentos se encontraban el zoólogo y parasitólogo Karl Georg Leuckart (1822-1898) y el embriólogo y anatomista Theodor L. W. Bischoff (1807-1882).

El histólogo Rudolph Albert von Kölliker (1817-1905), en su manual fundamental de la teoría de tejidos, informó acerca de los dispositivos ópticos del momento. Indicaba que, en lo que respecta a los microscopios, los que estaban en primera línea eran los de Plössl, Oberhäuser, Schiel y Kellner. En Italia mencionaba los fabricados por Amici, mientras que en Inglaterra destacaban los de Ross y Powell. Respecto a los microscopios alemanes, Kölliker utilizó los de la marca Kellner. Aunque elogiaba la excelente calidad de sus lentes, consideraba que los trípodes resultaban bastante incómodos. Por otro lado, Rudolf Virchow, en 1856, mantuvo contacto con el taller de óptica de Kellner y encargó una serie de microscopios para equipar el recién construido Instituto de Patología en Berlín²¹¹.

En Alemania, las avanzadas fórmulas de lentes de Zeiss, Schott y Abbe ayudaron a producir los primeros objetivos apocromáticos. La fotomicrografía

²¹⁰ Leopold Dippel (1827-1914), profesor de botánica y director del Jardín Botánico de Darmstadt.

²¹¹ Berg, *Ernst Leitz Optische Werke, Wetzlar 1849-1949, Die Bedeutung der Mikroskopie für die Entwicklung der Biologie und Medizin*, 12.

hizo su debut a mediados de siglo, August Köhler introdujo un método de iluminación que desarrolló para optimizar la calidad de la imagen, lo que permitió a los microscopistas aprovechar al máximo el poder de resolución de los objetivos del físico Abbe.

Durante las siguientes décadas hubo un aumento constante en la investigación microscópica en todas las áreas de la biología y la medicina, posible gracias a nuevas mejoras en los microscopios, que ahora se desarrollaban no solo empíricamente sino sistemáticamente. La historia de las grandes compañías nos ilustra también la evolución de la microscopía óptica y su internacionalización, con la mejora continua de los procesos de producción, automatización e innovación.

Zeiss fue una empresa pionera en incorporar científicos de renombre al proceso industrial, un magnífico ejemplo de investigación asociada al desarrollo tecnológico²¹². El botánico Schleiden ofreció ideas para la mejora del microscopio; pero, sin duda, la gran colaboración que tuvo Zeiss fue la del físico Abbe, creándose una línea de trabajo en el cálculo de lentes para el desarrollo de microscopios más potentes²¹³. Se construyeron microscopios de gran calidad en su taller, con normas muy estrictas. Otro de los fabricantes de instrumentos ópticos más importantes del primer tercio de siglo xx fue Ernst Leitz.

La mejora de las tecnologías accesorias de la microscopía también fue un factor determinante en su avance con la puesta a punto de procesos de fijación, inclusión y tinción. Con el fin de fijar el tejido, Adolf Hannover introdujo el uso del ácido crómico en 1840; Max Schultze incorporó el osmio como fijador en 1865; y Walter Flemming, pionero en la investigación de la mitosis, perfeccionó estas técnicas en 1882 con su solución de fijación a base de ácido crómico, osmio y ácido acético. Sobre la inclusión cabe destacar la de parafina, especificada por E. Klebs en 1869, y el proceso de celoidina introducido por Duval y Schiefferdecker, entre 1878 y 1882.

En la década de 1850 comenzó el uso de otros colorantes naturales y sustancias químicas complejas. La introducción metódica de la coloración se debe a Joseph Gerlachs, quien dio a conocer el carmín como un tinte útil en 1858. Pronto se encontró la hematoxilina (Böhmer, 1865), la eosina (Fischer, 1875), en la década de 1870-80 Paul Ehrlich desarrolló técnicas específicas como la

²¹² Carl Friedrich Zeiss (1816-1888) estableció su propio negocio en la ciudad universitaria de Jena, en Turingia, en el este de Alemania.

²¹³ Desde 1872, todos los microscopios se construyeron con los cálculos de Abbe, que alcanzarían gran nivel, siendo muy competitivos en el mundo de la producción de material óptico.

tinción de azul de metileno y la tinción del tejido vivo y bacterias y colaboró en la demostración de la distinta afinidad de estructuras celulares por los distintos colorantes, en función de sus características químicas. Paralelamente, entre 1870 y 1890, se desarrollaron técnicas de impregnación basadas en el uso de sales de plata (Camilo Golgi), abriendo nuevas vías para la investigación. En el desarrollo de este importante método también participó el español Ramón y Cajal, con el perfeccionamiento de la técnica.

La anatomía microscópica y la embriología experimentaron un gran avance con la introducción del micrótopo, promovido inicialmente por Oschatz, asistente de Purkinje en ese entonces. Posteriormente, Hermann Weicker perfeccionó este instrumento en 1856, lo que permitió que, gradualmente, se popularizara en círculos científicos más amplios.

La industria óptica, y en particular la empresa E. Leitz, desempeñó un papel clave en el desarrollo de este importante instrumento auxiliar microscópico, al incluirlo en su oferta comercial y facilitar su difusión.

El microscopio transformó la investigación en biología y medicina durante el siglo XIX, enriqueciendo el conocimiento a niveles inimaginables. Fue crucial para la teoría celular y permitió interpretar procesos patológicos a través de las células, brindando una nueva base para la medicina. Esto impulsó el desarrollo de la anatomía microscópica moderna y el estudio de tejidos. Además, permitió avances en la comprensión de la formación de organismos, los procesos de fecundación y la división celular, sentando las bases para la teoría de la herencia. También amplió el conocimiento sobre parásitos y microorganismos, favoreciendo tanto la zoología como la botánica, y promoviendo significativamente la medicina.