

Elementos dinámicos de la teoría celular

JOSÉ LUIS GONZÁLEZ RECIO
(Universidad Complutense)

En un sugerente artículo («Ensayo de axiomatización de la teoría celular», *THEORIA* —Segunda Epoca— Año II, Curso 1986-87, n.º 5-6, pp. 389-399) Asúa y Klimovsky han aplicado a la teoría de la célula el método de formalización conjuntista informal diseñado por Sneed y Stegmüller. El traslado de la interpretación estructuralista de las teorías al conocimiento biológico posee un interés doble: sirve para contrastar la funcionalidad de tal interpretación en dominios de la ciencia experimental nuevos, y, a la vez, proporciona al biólogo un valioso instrumento de clarificación de los marcos conceptuales con que trabaja —construcciones teóricas, por cierto, cuya vertebración formal resulta con frecuencia problemática.

Sabido es que la dinámica de teorías constituye otro dominio de problemas sobre el que se desea proyectar el aparato hermenéutico estructuralista. La bibliografía reciente revela, de hecho, un esfuerzo claro en esta dirección. Hallar claves que permitan entender el desenvolvimiento diacrónico de la ciencia es tarea imprescindible, desde luego, si no queremos olvidar su esencial dimensión histórica.

Las páginas siguientes son un acercamiento a los elementos dinámicos de la teoría celular, inspirado en «la metodología de los programas de investigación» propuesta por Lakatos. Pretenden brindar, por consiguiente, una reconstrucción racional de los pasos seguidos por la citología en su etapa fundacional. Creemos que se trata de una reconstrucción no sólo compatible sino con valor propedéutico para lo que pudiera llegar a ser su ulterior desarrollo en términos del proyecto estructuralista.

1. El entorno histórico

En 1665, Robert Hooke observa con el microscopio unas pequeñas cavidades o celdillas irregulares, al examinar una lámina de corcho. Compara su disposición a la que existe en los panales de miel, y bautiza lo que entiende que son poros con el nombre de «células». Nuevos microscopistas no tardan en confirmar las observaciones de Hooke y, así, con la deno-

minación que el británico les ha dado o con otras, entendidas como simples cavidades o como entidades sustantivas, las células empiezan a ser tenidas en cuenta por diversos naturalistas. Gallini y Ackermann sostienen —tras reinventar el término— que las células son los elementos que constituyen el cuerpo de los animales¹: Kurt Sprengel y Brisseau de Mirbel —entre los botánicos— hablan de las células suponiendo que son simples intersticios huecos: Ludolf Treviranus y Karl Rudolphi se inclinan, por el contrario, hacia una interpretación que ve en estas vesículas diminutos entes reales —interpretación a la que se suman Link y Moldenhawer, y que complementan atribuyendo a la célula los caracteres de unidad estructural y funcional. Quienes más impulsan, no obstante, la «protofisiología» celular son Dutrochet, Turpin y Meyen. El primero en sus *Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux et sur leur motilité* —(París, 1824)— se declara abierto partidario de una concepción globulista de los organismos animales y vegetales, en la que los corpúsculos globulosos —nombre que da a las células— ejercerían notables actividades secretoras y excretoras. Finalmente, Turpin y Meyen subrayan, por su parte, la autonomía funcional de las vesículas o células, lo que les permite pensar que son auténticos individuos vivos.

En el escenario histórico previo a la formulación de la teoría celular se reunieron, por tanto, un crecido número de noticias y observaciones que imprecisa y vagamente aludían a un tipo de entidades biológicas cuya naturaleza era aún motivo de discusión. Esbozados, si acaso, algunos de sus rasgos distintivos, la célula, o mejor el concepto de «célula», distaba mucho de ser unívoco, de contener notas comunes en cada uno de los zoólogos o botánicos que lo empleaban, de trascender en todos los casos el mero nivel de la descripción anatómica, y de poder transformarse en el núcleo de una teoría nueva. Por si fuera poco, la teoría de la fibra y la doctrina que proponía los tejidos como unidades últimas de la vida —gozando ésta de la influyente aprobación de Bichat— significaban plausibles alternativas a un globulismo todavía prematuro para vertebrar el análisis de la vida en sus unidades básicas. El cuadro quedaría incompleto sin citar a aquellos autores como Oken o Gruithuissen que, formados en el ambiente de la *Naturphilosophie*, buscaron por vía especulativa el principio estructurador fundamental de los seres vivos.

Ciertamente, los biólogos estaban obligados a satisfacer desde el Renacimiento una necesidad teórica cada vez más perentoria. Mientras el paradigma biologizante de la ciencia aristotélica amparó el conocimiento de la naturaleza entera, carecía de sentido inquirir cuál era la precisa calidad ontológica de «lo vivo». Fue al desvanecerse la física de la cualidad y al

1. Debo dejar constancia, desde estas primeras líneas, de mi deuda con el magnífico estudio histórico de Agustín Albarracín: *La teoría celular* (Alianza, Madrid, 1983).

producirse la revolución científica en el campo de la cinemática y la mecánica cuando la biología hubo de hacer frente con mayor empeño a la pregunta por la índole esencial de los procesos y fenómenos vitales. ¿Qué hacía diferentes a estos procesos y fenómenos de aquellos otros que el físico o el astrónomo habían logrado situar en un horizonte conceptual tan preciso como el de la mecánica clásica?, ¿cómo desvelar y dónde hallar su singular condición? Los métodos de análisis habían contribuido de manera excepcional al progreso de las ciencias que se ocupaban del mundo inorgánico y, tal vez por mimetismo, tal vez por participar de la mentalidad analítica que se abrió paso en toda la ciencia de la Edad Moderna, los biólogos aplicaron el análisis a la solución del enigma. Una opción semejante llevaba consigo de forma implícita la crisis —ahora ya en el estricto terreno biológico— del modelo holista de Aristóteles-Galeno; no provocada por el regreso a la práctica de la disección o la incipiente adopción de modelos mecánicos sino vinculada a la factura analítica de las nociones que intervendrían desde entonces en las teorías sobre la naturaleza de la vida. El tejido, la fibra y el corpúsculo globuloso son nociones cinceladas para el análisis de las estructuras orgánicas, para atrapar la unidad indivisible y última de lo vivo. Pero —no nos confundamos— detectar los fragmentos anatómicos mínimos en que podían tener lugar los procesos biológicos no equivalía a desentrañar la causa, el principio de su operatividad. ¿Dónde radicaba el factor responsable de la actividad de dichos procesos? La respuesta fue homogénea con las explicaciones causales que regían otras ramas de la ciencia: el principio activador de los hechos vitales tenía que ser una fuerza; una fuerza distinta de las fuerzas gravitatorias o electromagnéticas, pero no más misteriosa que ellas; una fuerza a cuya eficacia se debían las propiedades diferenciales de los fenómenos orgánicos. Y a una fuerza así era adecuado llamarle *fuerza vital*. El vitalismo resultó ser, pues, el límite en que se consumó el análisis de la estructura y la dinámica de la vida. Por tal razón, es conveniente no perder de vista, al valorar su influjo sobre la teoría celular, que sintonizaba con una tendencia epistemológica vigente en otras ciencias. Más que un regreso al oscurantismo o al conocimiento precientífico —como en ocasiones se pretende defender— las hipótesis vitalistas fueron, probablemente, un intento de garantizar a la ciencia de la naturaleza orgánica medios de análisis paralelos a los que el físico aplicaba. No puede sorprender, en resumen, que nombres ilustres de la biología de los siglos XVIII y XIX se aprestaran a suscribir la hipótesis ontológica del vitalismo: al hacerlo creían mantenerse en los límites rigurosos del método experimental.

El panorama que ofrecen la anatomía y la fisiología en las primeras décadas del siglo XIX —además de concordar con la situación que Kuhn ha descrito como previa a la articulación de un paradigma: competencia entre escuelas rivales, aleatoriedad en la elección de observaciones y experimentos, inexistencia de argumentos que decidan qué hechos son relevan-

tes, dificultad de comunicación entre aquellas escuelas rivales, etc.² —ostenta, así, una curiosa polaridad: de un lado, se persigue la homologación epistemológica de ambas disciplinas con el resto de la ciencia empírica, dotándolas de la inspiración analítica a que hemos aludido; de otro, la reducción ontológica de los fenómenos anatomofisiológicos a fenómenos físico-químicos se juzga una quimera, fruto de la imaginación de quienes desconocen la genuina naturaleza de los procesos vitales. Conviene preguntarse por las razones de este doble criterio —que se va a dejar sentir en diversas etapas del inmediato desarrollo de la teoría celular—, porque en él residen presumiblemente, asimismo, claves importantes para comprender el curso del pensamiento biológico hasta su actual traducción bioquímica. Y es que, en efecto, el vitalismo —tesis de la irreductibilidad ontológica— partía de los datos que suministraban modos de análisis con los que el anatomista y el fisiólogo trataban de emular los métodos de la física y la química. Sin embargo, el resultado obtenido por ellos era muy diferente al obtenido por el químico o el físico. Las ecuaciones de la mecánica, por ejemplo, relacionaban *magnitudes* nacidas de la interpretación teórica de fenómenos observables. El esbozo conceptual de tales magnitudes físicas —fuerza, masa inercial, aceleración...— suponía ya un grado de análisis al que los fenómenos biológicos no se prestaban. La fibra, el tejido o la célula —entendidos incluso como términos vinculados a una teoría— no podían ser variables de algo parecido a una función, puesto que constituían complejas entidades estructurales. Aún más: así como el cálculo infinitesimal permitía una prolongación de los métodos de análisis conquistados en física, quedaba fuera de duda que fibras, tejidos o células eran límites de la organización vital cuya división suponía la pérdida de las propiedades definitorias de la vida. En pocas palabras: el paradigmático análisis del físico no podía ser trasladado al dominio del mundo vivo en toda su radicalidad. Las más pequeñas unidades de la vida ni se asemejaban (a) ni se resolvían (en) magnitudes o conceptos físico-químicos. Es decir, los fenómenos orgánicos poseían un carácter irreductible. Ese carácter de irreductibilidad comprometía igualmente la idea de *fuerza vital*. En cuanto principio activador de los procesos biológicos, la *fuerza vital* ejercía su acción animadora de manera dinámica, desde el interior de la sustancia a la que dotaba de la estructura y los atributos de la vida. Albarracín remarca que el biólogo vitalista la tiene por una fuerza «superior (...) a las restantes fuerzas de la naturaleza cósmica —mecánica, térmica, eléctrica, magnética, química— y, en consecuencia, esencialmente irreductible a ellas, pero específicamente activa (...) en la dinámica real de los entes materiales en que existe, en los que llamamos, “seres vivos”»³.

2. Cfr. KUHN, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, cap. II.

3. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 16.

En conclusión, tanto los primeros elementos estructurales como los principios funcionales que la anatomía y la fisiología habían llegado a establecer analíticamente a finales del siglo XVIII y en la primera mitad del siglo XIX —guiadas por recursos epistemológicos y de método con éxito en otras ciencias— se pensaron pertenecientes a un orden de realidad inabarcable para las leyes o los conceptos de la física y la química. Concretamente, el conocimiento de las bases químicas de la fisiología celular exigía un escrutinio minucioso del medio interno de la célula, sólo alcanzable con el progreso paralelo de la citología y la química orgánica.

A la vista de las anteriores anotaciones históricas, las siguientes palabras de William Coleman sirven bien como descripción del ambiente que rodea la aparición de la teoría de Schleiden (1804-1881) y Schwann (1810-1882):

«... la teoría celular no fue simple creación de dos microscopistas con inventiva. Era el producto de muchos cursos prolongados y diversos de investigación, respecto a la estructura orgánica y la naturaleza del organismo. Por una parte existía una tradición de investigación microscópica unida, a menudo, a una generalización indebida basada en observaciones con frecuencia erróneas; por otra parte, estaban las conclusiones altamente especulativas pero no menos sugerentes de los *Naturphilosophen* (...). Hacia 1830, esas dos tendencias se habían mezclado y Schleiden y Schwann, para nombrar sólo a los más prominentes abogados de la teoría celular, estuvieron sujetos a la influencia de ambas»⁴.

Sea como fuere, hoy se admite de modo general que los trabajos de Schleiden sobre la fitogénesis —compendiados en sus *Beiträge zur Phyto-genesis* (1838)— y la obra que un año después publica Schwann en Berlín —*Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen*—, ampliando a los animales las investigaciones de Schleiden, tuvieron un mérito primordial: sistematizaron por medio de una teoría acabada y homogénea los indecisos ensayos teóricos, las observaciones inconexas y las huidas especulativas que desde hacía tiempo proliferaban en el seno de la anatomía microscópica o la fisiología animal y vegetal. Por ello, la incitación a conseguir un lenguaje teórico unificado, la presentación de observaciones reproducibles —iluminadas por la cobertura que ese lenguaje brindaba—, pero, sobre todo, la posibilidad de someter el inmenso repertorio de las formas orgánicas y las operaciones fisiológicas a unidades de estructura y función tan simples como las células, fueron las consecuencias que con mayor rapidez se hicieron notar a partir de 1839. El hecho de que la teoría celular de Schleiden-

4. COLEMAN, W., *La biología en el siglo XIX. Problemas de forma, función y transformación*. Trad. de G. Guerrero. Fondo de Cultura Económica, México D. F., 1983, pp. 46-47.

Schwann sufra desde ese momento una serie progresiva de correcciones que llegan a afectar al eje mismo de su red de hipótesis —la concepción de la formación celular— no supuso, en ningún caso, el abandono del programa que los dos biólogos alemanes lograron implantar. Pues bien: son los aspectos dinámicos, las distintas coyunturas que atravesó desde que fue dado a conocer, el rastro que ahora nos interesa seguir.

Las *Beiträge* de Schleiden abren el período de unificación teórica a que nos referíamos, proyectándose sobre tres cuestiones: el papel de la célula vegetal como unidad de estructura, el proceso de su generación, y la naturaleza del crecimiento de las plantas. Albarracín reúne las ideas del botánico de Hamburgo en las siguientes fórmulas:

1. «La célula vegetal es la unidad elemental constitutiva de la estructura de la planta».
2. «La célula se origina en una gelatina compleja, a través de un proceso que se inicia con la aparición en ella de los nucleolos; en torno a éstos surgen los núcleos o citoblastos; sobre éstos la aparición de una tenue vesícula que va creciendo paulatinamente, da lugar a la célula adulta».
3. «El proceso de crecimiento de la planta estriba en la multiplicación de las células dentro de otras células, salvo en los órganos leñosos, en los que la coagulación de un líquido da lugar a la formación súbita del tejido celular»⁵.

Schleiden, en síntesis, concede a las células la capacidad simultánea de ser autónomas y de intervenir en la arquitectura de los organismos vegetales a modo de unidades de estructura. Pronto, no obstante, encauza sus indagaciones hacia el desarrollo celular, para explicar, por último, de qué forma actúa éste respecto al crecimiento del organismo vegetal. Describe las propiedades que observa en el núcleo —labor a la que también se habían entregado Brown y Meyen—, pero añade un dato importante: la presencia en él de un cuerpo —el nucleolo— al que sitúa en el origen de la génesis de la célula:

«A partir de una mezcla de almidón, moco, azúcar y goma, se constituye una gelatina, en la que primero surgen nucleitos —*Kernchen*— y en torno a ellos, por una suerte de coagulación, los citoblastos o núcleos. Una vez maduros éstos, por un proceso químico la gelatina se transforma en membrana celular, constituyendo una sutil vesícula que se adapta al citoblasto como el vidrio del reloj a éste, iniciándose el crecimiento de la célula, que suele acabar con la disolución del núcleo»⁶.

El proceso es elevado a la categoría de ley para la formación del tejido

5. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, pp. 55-56.

6. *O.c.*, p. 52.

celular de las fanerógamas. Schleiden está tan convencido de la función generadora del núcleo que decide llamarlo «citoblasto». Enfatiza con ello que el foco de su investigación se centra en la vertiente activadora o dinámica que corresponde a las células —incluidos sus orgánulos—, y no sólo en una exploración descriptiva. Mas todavía hay algo que encierra mayor importancia: alertado por la filosofía neokantiana de Jacob Friedrich Fries y Ernst Friedrich Apelt —a quienes conoce en Jena—, Schleiden condena el vitalismo en cuanto doctrina metafísica que toma partido sobre la *esencia* de los fenómenos vitales. Creerá que el método de la botánica no puede ser sino el método analítico— causal basado en la inducción, y así lo prueba el título que da a la tercera edición (1849-1850) de una obra aparecida por primera vez entre 1842 y 1843: *Die Botanik als induktive Wissenschaft. Grundzüge der wissenschaftliche Botanik nebst einer Einleitung als Anleitung zum Studium der Pflanzen*⁷. El profesor de la Universidad de Jena —partidario del evolucionismo darwinista cuando éste se haga público, y enérgico detractor de la teleología— aboga por eliminar de la ciencia natural los pronunciamientos ontológicos. Aunque quiso avanzar hacia el objetivo de una botánica mecanicista, su apuesta era simplemente epistemológica, relativa nada más que a los principios del conocimiento biológico. Puede decirse, así, que Schleiden adoptó una postura antirreduccionista⁸, a pesar de confiar en la heurística del mecanismo. No le cabía otra posibilidad después de haber aceptado el mensaje primordial de la crítica neokantiana. Si la ciencia natural —biología o física— no era capaz de asir la realidad última que subyace a las apariencias fenoménicas, la presunta reducción de las teorías biológicas a teorías físicas equivaldría, todo lo más, a una redefinición de los términos o conceptos biológicos a partir de términos físicos, pero mantendría al biólogo tan alejado del real sustrato de la vida como lo estaba antes. De haber oído a Carl Hempel declarar: «... el mecanicismo queda mejor interpretado no como una tesis o teoría específica acerca del carácter de los procesos biológicos, sino como una máxima heurística, como un principio guía de la investigación...»⁹, es fácil imaginar que habría asentido satisfecho.

En el transcurso de una cena con Theodor Schwann¹⁰, Schleiden comunica a éste las ideas que profesa respecto a la formación de las células vegetales. Schwann no tarda en recordar que él ha contemplado en las células de la cuerda dorsal de algunos animales ese cuerpo que oye ahora denominar citoblasto. Instantáneamente comprende el incalculable valor

7. Respecto a la formación filosófica de Schleiden, cfr. *o.c.*, pp. 37-46.

8. Antirreduccionista en plano ontológico, es conveniente insistir.

9. HEMPEL, C. G., *Filosofía de la Ciencia Natural*. Trad. de A. Deaño. Alianza, 2.ª edición, Madrid, 1976, p. 155. El subrayado es mío.

10. Tuvo lugar en Berlín, el año 1837.

que tendría una generalización a la totalidad de los seres vivos de las nociones que su interlocutor aplica ya a la estructura y crecimiento de las plantas. Dos años después ven la luz las *Mikroskopische Untersuchungen*, y lo que surgió como ambicioso plan ha cobrado consistencia teórica.

Schwann comparte con Schleiden un acusado rechazo hacia el vitalismo. Luchando contra las opiniones de su maestro, Johannes Müller¹¹, persigue, seguro de sí mismo, «la consideración cuantitativa de la fisiología. No en balde pertenece (...) a la generación de sabios germanos que lleva a cabo el tránsito de la especulación de la *Naturphilosophie* a la mensuración y experimentación de la *Naturwissenschaft*. Schwann se propone someter las propiedades fisiológicas de un órgano a mensuración física, y así se consagra a cuantificar la contracción muscular en diversas circunstancias experimentales y a comparar la intensidad de tal contracción con la del estímulo que la provoca...»¹². La hipótesis que late en el fondo de estas y otras líneas de investigación es la hipótesis de la uniformidad legal de la naturaleza. El vitalismo era portador no ya de una doctrina metafísica que abría una brecha infranqueable entre el mundo orgánico e inorgánico, sino también de una decisiva fractura entre el modelo de explicación que delimitaba para las ciencias biológicas frente a las ciencias físicas. Schwann no estima racionales ni la creencia en la irreductibilidad ontológica de los hechos vitales ni el armazón teleológico de las explicaciones vitalistas. Lleva el reduccionismo, pues, a la esfera a la que Schleiden, por su formación filosófica, no quiso llegar: la esfera de lo real. Sin embargo, es necesario añadir un dato sin el cual no quedaría reflejada correctamente la representación que nuestro fisiólogo se hace de la naturaleza: el orden, la adaptación, la organización perfecta de los procesos y estructuras orgánicas —aunque no obedezcan a leyes diferentes de las que rigen en el mundo inorgánico ni deban ser explicados con principios teóricos distintos— poseen para Schwann la razón suficiente y trascendente que le proporciona su fe religiosa. Piensa, por tanto, que el postulado de la *fuerza vital* introduce en la naturaleza atributos y cualidades que en verdad pertenecen a su Creador. Los fenómenos vitales no son cualitativamente discernibles de los fenómenos físico-químicos, y si expresan una complejidad mayor, ésta podrá siempre ser asimilada a las fuerzas propias de las moléculas o los átomos. Tal complejidad estaba impresa de forma virtual en aquellas fuerzas atómicas desde la Creación.

La teoría celular iba a promover una explicación común del desarrollo de todos los organismos vivos. Al comprobar que las células de los tejidos

11. Müller representa la defensa estricta de la fisiología vitalista.

12. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 59. Albarracín sigue en estos comentarios la obra de Marcel Florkin *Naissance et déviation de la théorie cellulaire dans l'oeuvre de Théodore Schwann* (París, 1960).

animales se originaban de modo semejante a como lo hacían las células vegetales, y verificar, asimismo, que cualquiera de dichos tejidos no constaba sino de células. Schwann ve confirmada su convicción de que la naturaleza está siempre gobernada por leyes, por fuerzas mecánicas idénticas. En un párrafo de la autobiografía que escribe leemos:

«Pero si existen en el organismo animal partes elementales que se sustraen a la acción de la fuerza única (fuerza vital) que, según la opinión común, constituye el cuerpo de acuerdo con una idea, la existencia de esta fuerza se hace incluso dudosa. Admitamos como hipótesis su no existencia: a partir de ese momento la fuerza inherente a las moléculas mismas puede por sí sola dar razón del crecimiento de las partes elementales. Ahora bien, las moléculas no difieren esencialmente unas de otras y, por tanto, las fuerzas en cuya virtud se reúnen deben ser también, *por doquier*, esencialmente las mismas y, por consiguiente, también el modo de reunión, el modo de crecimiento debe ser el mismo. En el reino vegetal, el modo de reunión consiste esencialmente en su ensamblaje en células de núcleo preexistente: idéntico modo de reunión debe existir también en la formación y el desarrollo de todas las partes elementales del animal»¹³.

El «citoblastema» es el medio orgánico, la sustancia en que tiene lugar la formación celular. Se trata de una sustancia que existe en el seno de células ya formadas o que se encuentra entre ellas. Schwann sostiene que las células animales —al contrario de lo que ocurre con las vegetales— no suelen originarse en el interior de células preexistentes: puede hablarse de un predominio extendido de la formación exógena, esto es, en el citoblastema extracelular. La génesis empieza con la aparición del nucleolo y la sucesiva precipitación de sustancia granulosa que determina la síntesis del núcleo y la membrana nuclear. Sigue luego la formación y depósito en torno a éste de una sustancia diferenciada del citoblastema, y el desarrollo de la membrana celular que, poco a poco, aumenta su distancia al núcleo por la adición de moléculas nuevas —simultáneamente crece el líquido interno rodeado por la membrana; con posterioridad, el núcleo puede transformarse en una vesícula, acrecentar su tamaño o desaparecer.

De esta manera —según Schwann— la generación de células en los tejidos animales se corresponde —en sus mínimos detalles— con la que Schleiden ha propugnado para las células vegetales. Ahora bien —añadirá—, el admirable proceso que botánicos o zoólogos pueden observar en el microscopio obedece a fuerzas ciegas, a leyes inexorables que en nada difieren de las presentes en la naturaleza inorgánica:

«Una vez creadas y mantenidas en su integridad, estas fuerzas (materiales) pueden perfectamente, de acuerdo con sus inalterables leyes de la ciega nece-

13. FLORKIN, M., *o.c.*, p. 57, citado en ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 68.

sidad, crear combinaciones que muestran, incluso, un elevado grado de adecuación individual. Pero si la fuerza inteligente, tras la creación, se presenta únicamente como mantenedora, no como inmediatamente activa, puede ser totalmente abstraída del terreno científico-natural (...). Las fuerzas de la materia (viva), sin embargo, no tienen por qué ser explicadas mediante las conocidas leyes físicas, apelando, por ejemplo, a la electricidad o similares, sino que actúan *como* dichas fuerzas...»¹⁴.

Es decir, Schwann se pronuncia a favor de la reducción ontológica a que hemos aludido varias veces, pero no se siente obligado a admitir que las fuerzas físico-químicas que intervienen en los fenómenos vitales hayan de ser aquéllas que la física y la química de su tiempo han descubierto ya¹⁵. Así pues, la tarea a emprender es la búsqueda de las auténticas fuerzas físico-químicas que activan los procesos plásticos y metabólicos que presenciamos en la formación celular. He aquí el programa de investigación que Schwann lega a la biología futura. A través de un modelo simple, explica cuál es la clase de reducción en la que piensa, aunque no otorga a dicho modelo más que un significado analógico y puramente aclaratorio de lo que tiene en mente. Comparando la génesis de células con los procesos de cristalización que operan en el mundo inorgánico, mantiene:

«Si abstraemos todo lo que es especialmente peculiar de la formación celular, a la búsqueda de un concepto inmediatamente superior que permita asumirla en un proceso que se presenta en la naturaleza inorgánica, habremos de considerar tal formación como el hecho de que a costa de una sustancia disuelta en un líquido, se forma en este un cuerpo sólido de forma regularmente determinada. Este superior concepto abarca también, en la naturaleza inorgánica, el proceso de cristalización que constituye, por ello, el más inmediato análogo de la formación celular»¹⁶.

Definitivamente instalado en el antivitalismo que había encaminado sus primeros pasos como fisiólogo, Schwann culmina en este entretejimiento analógico la exposición didáctica de una idea a la que siempre ha permanecido fiel: la idea de la continuidad en la naturaleza, la idea de la homogeneidad de las fuerzas principios y leyes que dirigen los multiformes fenómenos naturales.

En lo que se refiere a su contenido puramente biológico, la primera versión de la teoría celular se erigió en una solución a dos cuestiones: determinaba cuáles eran las unidades vitales que componían la estructura de

14. SCHWANN, T., *Mikroskopische Untersuchungen*, p. 226, citado en ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 75. El subrayado es de Albarracín.

15. El uso del verbo «descubrir» está justificado, dado el realismo del citólogo alemán.

16. SCHWANN, T., *o.c.*, p. 239, citado en ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 81.

los seres vivos, y servía también como una teoría del crecimiento orgánico. El crecimiento de los animales o las plantas podía explicarse, en efecto, partiendo de las nociones que Schleiden y Schwann aplicaban a la formación celular, puesto que el desarrollo de los tejidos y los órganos constituía un producto de la repetida formación de células. El acento que Schleiden puso en el predominio de la formación endógena de las células vegetales —frente a la pretendida formación por precipitación en el citoblastema que Schwann imaginó más habitual para las células de los tejidos animales— no fue valorado como una distinción significativa. La continuidad de las leyes naturales tenía una garantía suficiente en lo que se creyó proceso de generación universal de toda célula: formación de los nucleolos, aparición del núcleo con la membrana nuclear, y posterior configuración de la membrana y el plasma celular. Conseguida la unificación teórica de la anatomía microscópica animal y vegetal, apuntadas, asimismo, sus posibles consecuencias fisiológicas, la biología entró en una nueva era. El término «biología» —consagrado y difundido por Gottfried Treviranus y Lamarck— vino a designar pronto un tipo de actividad científica que, como la física, perseguía la resolución teórica, la explicación, la inteligible justificación de los fenómenos que había convertido en su objeto. «Ni Treviranus ni Lamarck —recuerda Coleman— otorgan a la historia natural tradicional un sitio integral en la nueva ciencia. La descripción y clasificación de los minerales, plantas y animales, habían prosperado y progresado desde el siglo XVIII. Una vasta visión de los productos naturales (minerales, plantas y animales, en contraste con las producciones de artefacto del hombre), encontró albergue análogo en las innumerables *Historias Naturales* del siglo XVIII. La actividad descriptiva general constituía la esencia de la historia natural y quienes se dedicaban a ella podían llamarse en gran parte naturalistas... (No obstante) quienes acuñaron el término "biología" estaban esperando reorientar los intereses y las investigaciones de aquellos que estudiaban la vida. Su interés primordial lo constituían los procesos funcionales del organismo, esos procesos cuyo efecto agregado podía muy bien ser la vida»¹⁷.

La citología fue una ayuda crucial. Aun a pesar de los errores con que empezó a edificarse en las obras de Schleiden y Schwann, ya poseía allí los ingredientes de una empresa revolucionaria. Por si todo esto fuera poco, bajo un aparente mecanicismo compartido, vemos a los dos autores hacer una diferenciada evaluación de la reducción que han llevado a cabo: Schleiden es antivitalista, porque descarta el alcance ontológico de las teorías científicas; Schwann lo es, porque está seguro de que el mundo vivo no goza de ninguna singularidad ontológica irreductible a principios físico-químicos. Las consideraciones metateóricas, pues, tomaron en aquel

17. COLEMAN, W., *o.c.*, pp. 10-11.

momento tanto protagonismo como las exclusivamente biológicas y, así, la teoría de Schleiden-Schwann suministra al filósofo de la ciencia —no sólo al historiador— opiniones y tomas de postura cuyo análisis ha de resultar lleno de sugerencias. Si no abandonamos el campo anatomofisiológico, la situación en que quedó la teoría celular tras la aportación de los dos biólogos alemanes está bien recogida en este párrafo de Albarracín: «...la teoría celular de Schleiden y Schwann, en cuya virtud se reconocía la última y general estructura de los organismos vivos, requería difusión, ampliación y rectificaciones urgentes. Ampliaciones de dos tipos: referentes unas a una concepción sistemática del organismo, basada en la aceptación de la constitución celular de los tejidos, pero en la que éstos más allá de la visión de Schwann, adquirieran significado fisiológico además de morfológico; relativas otras a un mejor conocimiento de los componentes de la célula y de su *status* en la Biología. Junto a ello, rectificaciones urgentes: la primera, la real esencia del proceso genético de la célula y de su división ulterior. Y además de todo ello, una vez más, como siempre, un nuevo paso en el esclarecimiento del sentido biológico de la *vida*, asentado en la concepción celular de la materia que le es soporte»¹⁸.

2. Más allá de la *ciencia normal*

Concluida la presentación histórica de los antecedentes y la primera versión de la teoría celular, esto es, resumidas ya las circunstancias que precedieron y rodearon su aparición, cabe preguntarse en qué medida ese proceso queda adecuadamente esclarecido o iluminado por las concepciones de aquellos filósofos de la ciencia dispuestos a proporcionar una interpretación de los aspectos dinámicos de las teorías científicas. Vamos a considerar a continuación las nociones que al respecto han acuñado Karl Popper y Thomas Kuhn; las nociones con que tratan de construir sus modelos respectivos del cambio teórico en la ciencia experimental. Pero lo haremos con la intención de someter tales nociones y modelos a prueba, de verificar su aplicabilidad a la dinámica de la teoría de Schleiden y Schwann. El artículo de Kuhn «¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?»¹⁹ es una referencia excelente para ensayar dicho examen, puesto que permite obtener una idea precisa del grado de coincidencia y discrepancia que su autor admite entre las tesis que defiende y las de Popper. Sin ser un análisis exhaustivo, incluye importantes matizaciones

18. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 97.

19. KUHN, T. S., «Logic of Discovery or Psychology of Research?» en LAKATOS, I., y MUSGRAVE, A., (eds.) *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press, 1970, pp. 1-23.

en lo que concierne a la supuesta proximidad o distancia a que se encuentran las posiciones representadas por ambos, hasta desembocar en la confesión formal de sociologismo que Kuhn realiza cuando quiere extractar sus puntos de vista sobre el desarrollo del conocimiento científico.

Kuhn piensa que comparte con Popper un interés dirigido hacia lo que llama «el proceso dinámico por el cual el conocimiento científico se adquiere»²⁰. Cree que Popper niega a la ciencia un progreso de carácter acumulativo y que subraya también, como él, la decisiva importancia del «proceso revolucionario por el cual una antigua teoría es rechazada y reemplazada por otra nueva e incompatible»²¹. Finalmente, halla, asimismo, alguna coincidencia en su común «oposición a muchas de las tesis características del positivismo clásico»²². Sin embargo, las discrepancias que los separan proporcionan el tema principal al artículo. El fundamental aspecto diferenciador al que se alude es la escasa atención que Popper presta a la actividad habitual del científico, a saber: aquella en la que el científico se mueve en los límites que le impone un paradigma incuestionado:

«...cuando está trabajando en un problema de investigación normal, el científico debe aceptar la teoría vigente como premisa que brinda las reglas de su juego. Su objeto es resolver un enigma, preferiblemente uno en el que otros investigadores hayan fracasado; y la teoría en vigor es necesaria para definir ese enigma y garantizar que puede ser resuelto con cierto ingenio. Por supuesto, quien realiza tal empresa debe probar frecuentemente la solución hipotética que su inspiración le sugiera. Pero lo único que somete a prueba es su personal conjetura. Si no supera la prueba, lo que queda impugnado es su propia habilidad y no el cuerpo de la ciencia vigente. En pocas palabras, aunque las pruebas son frecuentes en la ciencia normal, tienen un carácter peculiar, pues en última instancia lo sometido a prueba es el mismo científico, más que la teoría prevaleciente»²³.

Es decir, Kuhn cree que Popper ha descuidado el estudio de aquellos períodos en que la investigación científica goza de cierta «estabilidad» por atenerse a una teoría unánimemente aceptada. Sugiere, en consecuencia, que Popper es incapaz de explicar el sentido de las fases que él llama de «ciencia normal». Los «tests» empíricos que se producen en estos períodos —vemos sostener a Kuhn— afectan nada más a hipótesis restringidas con las que sólo está comprometido un particular científico. Su refutación, por lo tanto, no tiene ningún efecto sobre la teoría que sirve para definir los

20. «Logic of Discovery or Psychology of Research?» (en lo sucesivo LDPR), en *o.c.*, p. 1.

21. LDPR, en *o.c.*, p. 2.

22. LDPR, en *o.c.*, p. 3.

23. LDPR, en *o.c.*, pp. 4-5.

problemas a resolver y la clase de soluciones que cabe tomar por válidas. Todo esto es fruto de que «...Sir Karl ha caracterizado la empresa científica entera en términos sólo aplicables a sus momentos revolucionarios ocasionales»²⁴.

La presentación de la teoría celular por Schleiden y Schwann, tal como se produjo entre 1838 y 1839, supone uno de esos momentos revolucionarios; es un momento tan crucial en la historia de la biología como pudo serlo la revolución copérmicana en astronomía. Trajo consigo la implantación de un nuevo paradigma que aún hoy dirige los pasos de la investigación biológica, modificó intensamente las ideas sobre la estructura de los seres vivos e inició la unificación teórica de la zoología y la botánica. A partir de aquella fecha, una larga tradición de «ciencia normal» ha continuado los trabajos de Schleiden y Schwann. En la actualidad, los biólogos cuentan con un inventario abultado de enigmas resueltos dentro del marco de la teoría, siendo presumible que misterios aún indescifrados hallen también una futura solución en los principios de la concepción celular de los organismos. Pero ¿hasta dónde llega la concordancia entre el concepto de «ciencia normal» forjado por Kuhn y el progreso de la investigación citológica desde 1838 hasta nuestros días? Parece indudable que la teoría celular dejó establecidas unas «reglas de juego» que han sido respetadas hasta hoy y, por consiguiente, que la investigación biológica producida con posterioridad a 1838 debiera corresponder a la categoría de «investigación normal». Sin embargo, como trataremos de mostrar, el concepto de Kuhn no refleja bien la serie de correcciones, ampliaciones y desarrollos que ha sufrido la citología a través de los siglos XIX y XX. Kuhn entiende las etapas de «investigación normal» como etapas estáticas. Su énfasis en la índole revolucionaria del progreso científico y su crítica a las interpretaciones acumulativas del avance del conocimiento pueden hacer olvidar algo capital: para él existen periodos en la historia de cada ciencia cuyo rasgo fundamental es la dedicación de los científicos a acumular conocimientos. La tradición de ciencia normal que sigue al triunfo de cualquier paradigma consiste, por definición, en el atesoramiento de aplicaciones del mismo a problemas nuevos, en la actualización de toda su potencia explanadora. De esta forma, la historia de la ciencia no sería sino una repetida alternancia de crisis revolucionarias y de periodos estables dominados por la aceptación de un paradigma compartido. Olvidar las etapas «intercrisis» es la objeción que Kuhn plantea a Popper. En ellas hay una teoría aceptada como premisa inalterable, hay un conjunto de enigmas aparecidos en su seno, y hay una labor investigadora que procura darles respuesta sin rebasar los límites de la teoría y que no debe tampoco modificar sustancialmente el contenido de ésta —en el sentido de refutarla. Las

24. LDPR, en *o.c.*, p. 6.

pruebas —frecuentes en la ciencia normal, decía Kuhn— afectan a la habilidad del científico, más que a la teoría prevaleciente, si concluyen en la refutación de una hipótesis; si la hipótesis se confirma, es entonces *acumulada* como una consecuencia del poder explicativo que el paradigma detenta. «Tradición», «ciencia normal», «investigación normal», son términos, por tanto, que tienen para Kuhn una nítida dimensión conservadora.

Pues bien, la investigación citológica alentada por el paradigma de la teoría celular es un notable ejemplo de «investigación normal» con elementos bastante más dinámicos de los asignados por Kuhn a estas fases históricas. Tras la publicación de los trabajos de Schleiden y Schwann, Jacob Henle —en su *Allgemeine Anatomie. Lehre von den Mischungs- und Formbestandtheilen des menschlichen Körpers* (Leipzig, 1841)— polemiza con aquéllos sobre la preexistencia de los nucleolos antes de la formación del núcleo, adopta también una postura organicista conjugada con la idea de «fuerza vital», y juzga inevitables las explicaciones teleológicas en fisiología. En 1857, Leydig, y poco después de Bary y Max Schultze, niegan que exista pared celular «en el sentido primitivo ofrecido por los botánicos (...). La presencia de una membrana, aunque no indispensable, es *posible* como constituyente de la estructura celular»²⁵. Las indagaciones de Purkinje y von Mohl, primero, y después las contribuciones de Unger, Schultze, Haeckel, Brücke, de Bary y Kühne, lograron que para la década de los sesenta la noción de «protoplasma» permitiera desechar la idea de un contenido celular amorfo con valor secundario en la arquitectura de la célula. El año 1841, Robert Remak ha podido refutar el carácter general de la «pretendida generación exógena en un hipotético citoblastema»²⁶ y establecer como cierta la multiplicación por división de las células hemáticas. Rudolf Virchow proclama dieciocho años más tarde: «...negamos en la histología fisiológica o patológica la posibilidad de formación de una nueva célula a partir de una sustancia no celular. Doquiera se origine una célula, allí tiene que haber existido una célula (*omnis cellula e cellula*), lo mismo que un animal sólo puede provenir de un animal y una planta de una planta»²⁷. Los trabajos de Charles Ernest Overton sobre las propiedades osmóticas de las células permitirían, hacia fines de siglo, matizar las opiniones de Schultze relativas a la envoltura celular. Overton estudia la «distinción entre el bien conocido citoplasma fundamental y la membrana celular, subrayando que esta última se halla siempre presente en la célula»²⁸. Por su parte, las ideas en torno al núcleo se verán afectadas de simi-

25. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 134. El subrayado es mío.

26. *O.c.*, p. 188.

27. VIRCHOW, R., *Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre*, 2.ª edición, Berlín, 1859, p. 25, citado en ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 197.

28. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, p. 208.

lares correcciones, rectificaciones y refutaciones. Después de haber sido extendida la creencia en su origen exógeno (por Valentin, Schleiden, Schwann, Henle, Remak, Weisman y Lankaster), Flemming y Rabl —con el precedente de las importantes observaciones de von Baer, referidas a la división celular (1846)— pueden proporcionar entre 1882 y 1886 una descripción completa de la mitosis. ¿Cabría hablar, a la vista de semejantes enmiendas en el contenido de la teoría, de un periodo o fase de investigación normal en el sentido de Kuhn? Francamente no. Las modificaciones permanentes de que es objeto la teoría de Schleiden y Schwann distan de tener siempre un significado acumulativo. En la relación presentada, las innovaciones son con frecuencia *sensu stricto* revolucionarias —de hecho, esa relación podría ampliarse aún más. Las tesis desechadas, lejos de ser conjeturas de un investigador individual que ensaya la solución de un enigma al amparo del paradigma vigente, muchas veces constituían auténticos supuestos del propio paradigma que eran *cancelados* en el curso de la investigación. Quizá no se trate de claudicaciones globales o súbitas, mas las variaciones a que ha estado sometida la teoría celular han afectado sin duda a su contenido, su estructura, los recursos metodológicos en ella empleados, su encuadre epistemológico y sus implicaciones metafísicas.

La ciencia normal posee también —se diría, si hubiera que juzgarla por lo acaecido en el desarrollo de la teoría celular— cierto grado de revisionismo entre sus notas inherentes. Hay «zonas» de los paradigmas que pueden llegar a ser revisadas, en efecto, sin que éstos sean sustituidos en su integridad. Parece, pues, que los términos de la descripción popperiana no son —como Kuhn aducía— sólo aplicables a los ocasionales momentos revolucionarios de la historia de la ciencia. Cierto que en la investigación normal a veces las pruebas dictaminan exclusivamente la refutación de una conjetura individual, pero cierto, no menos, que otras veces algunas cláusulas del contrato suscrito con el paradigma son recusadas por la comunidad científica, si existen buenas razones para hacerlo. El esfuerzo emprendido por Kuhn para mostrar que la refutación de una hipótesis o teoría no es motivo que con seguridad determine su abandono, era necesario. Los ejemplos de hipótesis o teorías refutadas a las que se han aferrado los científicos durante años son abundantes. Sin embargo, la postura de Kuhn se debilita cuando pretende hacerse tan dogmática como la que critica en Popper: del «toda hipótesis refutada no puede sino rechazarse», Kuhn pasa al «ninguna hipótesis refutada en una fase de investigación normal es objeto de rechazo por los científicos, si está integrada en el cuerpo doctrinal del paradigma». Ahora bien, la sistematización teórica que impuso en botánica y zoología el paradigma forjado por Schleiden y Schwann no impidió una revisión constante de aspectos del mismo. Fueron revisiones que exigían la previa aceptación de las experiencias y conceptos movilizados por los dos autores alemanes, esto es, fueron revisiones que nada tienen que ver con la rivalidad entre escuelas que, según Kuhn

supone, precede al nacimiento de una teoría paradigmática. Kuhn tiene razón —no está de más repetirlo— cuando apunta al hecho de que en las fases de investigación normal el científico *puede* subordinar las exigencias lógicas a las psicológicas: el científico no siempre se atiene a criterios lógicos cuando investiga inmerso en una tradición —esta era una cuestión inadvertida en el análisis popperiano; no obstante, pretender que la pertenencia a una tradición empuja hacia el reino del absoluto irracionalismo es un error a la par denunciabile. La empresa científica no está libre de elementos psico-sociales, históricos y si se quiere hasta «épicos», pero tampoco está fundada en ellos exclusivamente. Una mirada al desarrollo de la citología en el siglo XIX deja ver que en las épocas de investigación normal también cuentan los requerimientos de la lógica. Henle consiguió falsar la hipótesis de la preexistencia de los nucleolos, y la desestimó. Leydig, de Bary y Schultze comprobaron que no podía sostenerse la presencia universal de la pared celular, y no dudaron en señalarlo. Unger, Haeckel, Brücke o Kühne juzgaron equivocada la presunción de que el contenido celular fuese indiferenciado, porque así se lo indicaban sus experiencias. Y Virchow obtuvo evidencia suficiente para declarar refutada la posibilidad de la generación exógena de las células, y se apartó de la idea original de generación por cristalización en el citoblastema. En consecuencia, aun habiendo instituido un marco teórico cuyo vigor todavía perdura, la teoría celular no impulsó una simple tradición acumulativa. Diversos resultados de las líneas de investigación que alentó obligaron a reformular una y otra vez alguno de sus principios.

Popper —Kuhn lo reconoce— no es un falsacionista ingenuo. En la *Logic of Scientific Discovery* afirma:

«en realidad, jamás puede realizarse la refutación concluyente de una teoría, puesto que siempre es posible decir que los resultados experimentales no son fiables, o que las discrepancias que se sostiene existen entre los resultados experimentales y la teoría son sólo aparentes y desaparecerán con el avance de nuestro conocimiento»²⁹.

Sin embargo, el párrafo —evocado por Kuhn en su artículo— es objeto del siguiente comentario: «Aunque no es un falsacionista ingenuo, sugiero que Sir Karl puede ser tratado legítimamente como tal»³⁰. Invirtiendo la perspectiva, creemos poder concluir, a la vista de todo lo anterior, que Kuhn no es un irracionalista ingenuo —como lo acreditan estas palabras: «...si bien la lógica es un instrumento poderoso y en última instancia esencial de la investigación científica, uno puede tener conocimiento fidedigno en for-

29. POPPER, K. R., *Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, Londres, 1959, p. 50.

30. «Though he is not a naive falsificationist, Sir Karl may, I suggest, legitimately be treated as one». LDSR, en *o.c.*, p. 14.

mas a las que la lógica apenas puede ser aplicada»³¹— pero que merece ser considerado como tal. La articulación progresiva de la teoría celular no se acomoda a las medidas exactas de las metodologías de Kuhn ni de Popper. Si ya ha sido atemperado en las teorías de sintaxis más depurada —las teorías físicas— el acento en los aspectos sintácticos de la investigación científica —que Popper ha heredado de la filosofía de la ciencia del positivismo lógico—, debe probablemente también ser atenuado en aquellas otras construcciones teóricas con un nivel de formalización menor. Y en lo que a Kuhn respecta, si un dominio de investigación como la citología, o mejor, si un grupo de científicos como el de los citólogos se ha manifestado con una beligerancia interna mucho mayor de la que se reconoce para las etapas de ciencia normal, y si en dicha confrontación distintas «zonas» del paradigma han sido impugnadas en virtud de criterios lógicos, es preciso admitir que al menos la «sociedad citológica» fue desde su fundación un círculo de profesionales bastante más animado, bullicioso y contestatario que los frecuentados por quien ha escrito *La estructura de las revoluciones científicas*. ¿Hay que entenderlo así o habrá que recordar a Kuhn que la clase científica suele estar dispuesta, en general, a incluir en su *ideología* los valores lógicos junto a otros valores? Tal vez lo mejor sea buscar un nuevo modelo al curso histórico de la teoría celular.

3. La teoría de Schleiden-Schwann como *programa de investigación*

La reconstrucción racional que Imre Lakatos ha ofrecido de la historia de la ciencia —principalmente de la historia de la física— es la metodología desde la que procuraremos contemplar ahora el camino recorrido por la citología a partir de las *Beiträge* de Schleiden. Sabido es que con su llamado «falsacionismo metodológico»³² Lakatos pretende, de una parte, salvar diversas tesis de Popper del penetrante acoso kuhniano; pero es conocido también que, mediante él, piensa conseguir una corrección o ajuste del tipo de racionalidad que Popper pretendía haber descubierto en la sucesión de teorías o hipótesis propia del conocimiento científico. La pertinencia de algunas objeciones planteadas por Kuhn al falsacionismo ingenuo y la insuficiencia de la interpretación psico-social de la dinámica de las teorías están, pues, en la raíz de este nuevo intento. Se desea un modelo acoplado a los hechos; se busca recoger de forma más adecuada en ese modelo cuanta información histórica podían explicar las concepciones de Kuhn y Popper; sin embargo, se persigue sobre todo asumir y cubrir los

31. LDPR, en *o.c.*, p. 16. El subrayado es mío.

32. *Methodological falsificationism*.

vacíos hermenéuticos³³ a que ambas concepciones llevaban. El escaso éxito con que, ya hemos visto, se pueden aplicar las dos al desarrollo de la teoría celular convierte a este desarrollo en un interesante ejemplo con el que contrastar la metodología que Lakatos concibió: la que llamó «metodología de los programas de investigación científica». Trataremos de averiguar, por lo tanto, en un último intento, si Lakatos hubiera podido presentarse a sí mismo como el «biógrafo» hoy por hoy más lúcido de la teoría de la célula.

La noción focal en que se origina la versión lakatosiana del progreso y la racionalidad científica es la noción de «programa de investigación»³⁴. Un programa ha de poseer siempre, de modo simultáneo, reglas que prohíben rutas de indagación y reglas que marcan o señalan rumbos que pueden o deben seguirse. Las primeras dan lugar a una *heurística negativa* y las segundas a una *heurística positiva*. No obstante, el componente más característico de cualquier programa es su «centro firme»³⁵.

«La heurística negativa del programa nos prohíbe aplicar el *modus tollens* a este "centro firme". Por el contrario, debemos usar nuestro ingenio para articular, incluso para inventar, "hipótesis auxiliares" que formen un *cinturón protector* alrededor de este centro, y debemos reorientar el *modus tollens* hacia ellas. Es este cinturón protector de hipótesis auxiliares el que tiene que sufrir el impacto de las pruebas y ser ajustado, reajustado o hasta completamente sustituido para defender así el centro firme»³⁶.

Entendida como programa de investigación, la física newtoniana dispone en verdad de un centro firme, de un núcleo inflexible en el que han de situarse las tres leyes o principios de su mecánica y la Ley de la Gravitación. Tal centro es irrefutable y está a salvo de las anomalías que, si se producen, deben provocar modificaciones en el cinturón protector de las hipótesis auxiliares o en las condiciones iniciales, quizá defectuosamente establecidas. Con todo, los centros firmes de los programas no son elaborados «de golpe», creados de una vez —algo en lo que a menudo no se repara cuando se exponen los puntos de vista de Lakatos y que tiene especial importancia. En una nota a pie de página puede leerse:

«El definitivo centro firme de un programa realmente no nace formado al

33. Empleo la expresión en el sentido de ausencia de reconstrucción racional.

34. Voy a presentar las ideas de Lakatos basándome en LAKATOS, I. «Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes» (citado en lo sucesivo como MSRP), en LAKATOS, I., y MUSGRAVE, A. (eds.) *o.c.*, pp. 91-196.

35. Uso la traducción que Juan Carlos Zapatero hace de la expresión inglesa «*hard core*» en su versión española del artículo de Lakatos (Alianza, Madrid, 1983).

36. MSRP, en *o.c.*, p. 133.

completo como Atenea de la cabeza de Zeus. Se desarrolla lentamente a través de un largo proceso preliminar de ensayo y error...»³⁷.

De este modo, los programas tienen una plasticidad característica que se manifiesta de dos formas: a) la consolidación del centro firme por ensayo y error; b) las subsiguientes etapas en las que se producen cambios progresivos en la problemática teórica, acompañados con más o menos rapidez de corroboraciones empíricas. Los científicos que trabajan en un programa están, por consiguiente, libres del bloqueo que debería provocar en sus investigaciones el cúmulo de anomalías que rodean a un proyecto teórico. Así ocurre, porque tanto en la constitución del centro firme como en el posterior desarrollo del programa se da un grado de elasticidad suficiente. «Esto muestra una vez más hasta qué punto son irrelevantes las refutaciones de cualquier versión específica de un programa de investigación»³⁸. Es decir, evidencia que se cuenta con la posibilidad de asimilar las refutaciones, gracias a que puede idearse una nueva versión del programa, más progresiva, y que no causa interferencias en el «corazón» de aquél, si ya ha adquirido su conformación definitiva. Puede también explicarse así la «relativa autonomía de la ciencia teórica»³⁹, y apreciarse el predominio de la heurística positiva sobre las anomalías observadas, que para el falsacionista dogmático valdrían como motivos de rechazo del programa.

Aunque Lakatos afronta la cuestión del cambio de programa, de la sustitución de un marco conceptual por otro, y aporta —distanciándose de Kuhn— un fundamento racional justificador de dicha sustitución, lo que vamos a continuar destacando —por su aplicabilidad a la configuración de la teoría celular— es su manera de analizar la dinámica interna de los programas de investigación. Separándose también aquí de Kuhn —en este caso del supuesto acriticismo que Kuhn define como rasgo de la ciencia normal—, sostiene:

«Dentro de un programa de investigación los *experimentos cruciales menores* entre versiones subsiguientes son bastante comunes. Los experimentos “deciden” finalmente entre la versión científica n y la $n + 1$, ya que la $n + 1$ es no sólo inconsistente con la n sino que también la supera. Si la versión $n + 1$ tiene más contenido corroborado a la luz de algún programa y a la luz de algunas teorías observacionales bien confirmadas, la eliminación es una cuestión relativamente rutinaria...»⁴⁰.

37. «The actual hard core of a programme does not actually emerge fully armed like Athene from the head of Zeus. It develops slowly, by a long, preliminary process of trial and error...» *Ibid.*

38. MSRP, en *o.c.*, p. 136.

39. MSRP, en *o.c.*, p. 137.

40. MSRP, en *o.c.*, p. 157. El subrayado es de Lakatos.

El despliegue teórico de un programa carece en suma de los atributos paralizadores de la crítica racional que Kuhn considera típicos de la ciencia normal. La adhesión a un paradigma no constriñe la racionalidad al extremo de estrangularla. En primer lugar, porque el paradigma —entendido como núcleo de un programa— está sujeto hasta su consolidación como tal a un tenaz proceso de revisión y de ajuste en su estructura y su semántica. En segundo lugar, porque —afianzado el centro firme— el progreso de la investigación se funda en la agilidad con que hipótesis auxiliares son excluidas y reemplazadas por otras distintas; en la posibilidad de reinterpretar o suplir porciones enteras del cinturón protector; y en las tentativas que suponen una expansión del contenido teórico y que conducen a la predicción de hechos nuevos. Producto de esta persistente mutabilidad, los programas de investigación son capaces de adoptar sucesivas versiones diferentes, no catalogables, si hemos de ser rigurosos, ni como simples crecimientos acumulativos ni como creaciones *ex nihilo*. Los programas son —si cabe hablar así— entidades teóricas con un considerable poder de autorregulación para encarar los «desafíos» que representan las anomalías, en oposición a los paradigmas, cuya supervivencia viene garantizada por la rigidez de toda su estructura y la extensión de esa rigidez a la investigación normal:

«De este modo, el dogmatismo de la "ciencia normal" no impide el crecimiento, siempre que lo combinemos con el reconocimiento popperiano de que hay una ciencia normal buena y progresiva, y de que hay ciencia normal mala y regresiva...»⁴¹.

Los paradigmas de Kuhn, al funcionar como instrumentos de un análisis que descansa en la psicología de grupos o en la sociología del conocimiento, están provistos de resortes —del tipo de la propaganda, el adoctrinamiento o la sumisión irreflexiva— que explican muy bien la estabilidad de la ciencia normal. Sin embargo, si el concepto de «paradigma» es reedificado en el «tercer mundo» de Popper —y Lakatos estima que precisamente eso es lo que ha hecho para confeccionar el concepto de «programa»⁴² —la sugestión, en cuanto poder manipulador, o el doctrinarismo pierden allí toda su efectividad, y el *tempo* de la investigación, así como las innovaciones que en ella se produzcan, quedan sólo sometidos a la dificultad de operar con los elementos objetivos de aquel mundo. Kuhn —llega a reconocer Lakatos— ha iluminado importantes cuestiones relacionadas con la psicología de la ciencia, pero la psicología de la ciencia nada tiene

41. MSRP, en *o.c.*, p. 177.

42. «Indeed, as I had already mentioned, my concept of a "research programme" may be construed as an objective, "third world" reconstruction of Kuhn's socio-psychological concept of "paradigm"...» MSRP, en *o.c.*, p. 179. El subrayado es de Lakatos.

que aportar a un modelo sobre el crecimiento del conocimiento científico, puesto que éste se produce en un orden ideal, independiente de los sujetos que conocen. Así pues, la crítica racional no es una quimera anulada por el relativismo gnoseológico, social o cultural. Pese a ello, la crítica destructiva, fruto del hallazgo de inconsistencias o refutaciones —la clase de crítica en la que ha pensado Popper— es, a breve plazo, inocua para los programas de investigación:

«La crítica de un programa es un proceso largo y a menudo frustrante: se debe tratar a los programas en crecimiento indulgentemente. Por supuesto, se puede mostrar la degeneración de un programa de investigación, pero sólo la crítica constructiva es la que, con la ayuda de programas de investigación rivales, puede obtener un éxito real»⁴³.

Si ahora procuramos acercarnos al modelo de Lakatos a la teoría de Schleiden-Schwann, apreciamos de inmediato que supera los de Popper o Kuhn. La clase de actividad teórica puesta en marcha por los dos biólogos alemanes y algunos predecesores más se acopla mucho mejor a la idea de «programa de investigación» que a las nociones de «paradigma» y «ciencia normal». El empeño decididamente analítico con que la biología del siglo XVIII se enfrentó al problema de las estructuras y las funciones vitales presagiaba la aparición de un programa llamado a detectar las unidades anatómicas y fisiológicas que constituían la base de la vida. El biólogo de la Ilustración acepta la teoría de la fibra, primera aproximación al conocimiento analítico de las estructuras orgánicas. La teoría del tejido y la teoría globular son tentativas frustradas que han nacido de ese mismo afán analítico; pero sólo la teoría de la célula llegará a propiciar un programa de investigación duradero y sólido.

Por ensayo y error, el centro firme comienza su proceso de concreción, una vez publicadas las *Beiträge* de Schleiden, hasta resultar articulado en las siguientes tesis: a) «Los cuerpos de todas las plantas y animales están formados por células»; b) «Todo lo vivo, en realidad, está formado por células o productos celulares»; c) «Las células nuevas se forman por división de células preexistentes»; d) «Hay parecido fundamental entre los componentes químicos y las actividades metabólicas de todas las células»; e) «La actividad de un organismo en su conjunto es la suma de las actividades e interacciones de sus unidades celulares independientes»⁴⁴. El tiempo necesario para que este núcleo central haya cristalizado como conjunto de tesis compartidas fue de unos cincuenta años —en 1888, Ramón y Cajal da a conocer sus descubrimientos sobre la «Estructura de los centros ner-

43. *Ibid.* El subrayado es del autor.

44. Cfr. VILLEE, C. A., *Biología*. Trad. de R. Espinosa. Nueva Editorial Interamericana. 7.ª edición. Madrid, 1981, p. 9 y p. 33.

viosos de las aves», que culminan la teoría celular⁴⁵. En el camino han sido desplazadas hipótesis tan prometedoras en principio como las de la formación celular exógena y endógena, la hipótesis de la preexistencia de los nucleolos, o supuestos tan identificados con el primitivo concepto de «célula» como la presencia de una *pared* que rodearía al plasma celular. Sin embargo, el programa conserva todo su vigor, porque quienes lo desarrollan le conceden un tiempo que la «intransigencia lógica» del modelo popperiano no podría explicar. De haber actuado conforme a los cánones lógicos que Popper da por existentes en la investigación científica, los biólogos del pasado siglo habrían abandonado la teoría de Schleiden-Schwann. En no demasiado tiempo se comprobó: a) que la célula no se origina en una gelatina compleja; b) que el proceso de formación no se inicia con la aparición de los nucleolos; c) que los núcleos o citoblastos no se generan por precipitación en torno a los nucleolos; d) que la génesis de la célula no tiene lugar por crecimiento de la vesícula que rodea al núcleo; e) que el crecimiento de las plantas no era producto de la multiplicación de las células dentro de otras células; f) que, incluso en los órganos leñosos de las plantas, no se da nada parecido a una formación súbita de células; g) que las células de los tejidos animales no seguían tampoco el modo de nacimiento defendido por Schwann. Es decir, con gran prontitud, la mayor parte de la primera teoría celular había quedado falsada. Sin embargo, el «programa Schleiden-Schwann», lejos de ser proscrito, concitó creciente atención, y a su perfeccionamiento se entregaron investigadores como Henle, Schultze, Purkinje, von Mohl, Cohn, Remak, Virchow, Overton, von Baer, Reichert, Hertwig, etc. Pero, ¿es adecuado calificar de trabajo de *remozamiento* la labor que ejecutaron y los resultados que obtuvieron? En absoluto. El atisbo de la mitosis por Henle, la definición de «célula» aventurada por Schultze o la descripción de la división nuclear realizada por von Baer eran auténticos venablos lanzados contra principios muy enraizados en las doctrinas de Matthias Schleiden y Theodor Schwann. Forzaban, más bien, a la ruptura con aquellos principios, y en ningún caso equivalían a frutos derivados de un sometimiento irracional —acrítico— como el exigido por la práctica de la ciencia normal kuhniana. A Kuhn sólo le estarían permitidas dos alternativas, si quisiera superponer su modelo a la historia de la citología: 1) rechazar que la teoría de Schleiden-Schwann constituyera un paradigma; 2) sostener que toda la investigación citológica ulterior ha estado sujeta a la aceptación ciega de una serie de dogmas formulados en 1838. Por descontado, ambas opciones serían inconsistentes. Al argumentar en favor de la primera, Kuhn tendría que señalar qué otra teoría citológica posterior ha hecho las veces de paradigma. Ahora bien, entonces quedaría obligado a admitir que ya había tradi-

45. Cfr. ALBARRACÍN, A., *o.c.*, pp. 270 y ss.

ción investigadora en citología —ciencia normal— antes del advenimiento de dicho paradigma. No es fácil imaginar que eligiera la segunda vía, mas, de hacerlo, bastaría repasar con él cualquier historia de la biología para convencerle de que las correcciones practicadas en la teoría de 1838 no se ejercieron sobre las personales conjeturas de un científico individual sino sobre un cuerpo doctrinal compartido. Lo puesto a prueba era parte de la teoría prevaleciente, y no la solución dada a un enigma por un especialista particular.

Tratada como «programa de investigación», la teoría celular —en su primera formulación y modificaciones subsiguientes— se presta a una inteligibilidad histórico-racional ausente en los enfoques de Popper y Kuhn. Si se prefiere, podría decirse, inversamente, que el modelo dinámico de Lakatos tiene en la teoría celular un buen ejemplo para hacer valer sus ventajas respecto a los concebidos por Kuhn y Popper. Sin ningún período de latencia, en 1838, el programa de Schleiden comienza a contar con una heurística negativa y una heurística positiva. La tesis de que los organismos animales y vegetales están formados por células como últimos elementos estructurales pasó a configurar el centro firme del programa —inició la configuración del centro firme—, y allí permanece desde entonces auspiciando toda una heurística negativa. Según es fácil comprobar, también con el comienzo del programa había quedado abierta una línea de indagación positiva, una heurística positiva volcada hacia el desvelamiento del origen y la formación de las células, así como un cinturón protector en el que intervenían hipótesis o presupuestos sobre las aberraciones producidas por los microscopios, las técnicas de tinción, teorías ópticas generales, etc. La «solidificación» del núcleo del programa no se iba a producir hasta que, por medio de la heurística positiva, se logró construir una versión de aquél en la que quedaban transformadas las ideas relativas a la multiplicación celular, era reconocida la significación funcional de la célula, y la arquitectura citológica se ampliaba a todos los tejidos —incluido el nervioso. Mientras tanto, las reiteradas correcciones, las falsaciones rápidas de numerosos enunciados pertenecientes a la primera versión, no dejaron de producirse: no fueron siempre —en contra de la perspectiva kuhniana— ampliaciones acumulativas; y el programa —frente a lo que Popper pretendería— no fue rechazado. Ello parece indicar que la biología es capaz, como la física, de seleccionar proyectos teóricos con cierta autonomía o al menos con autonomía suficiente para liberarse de la paralización que impondrían las anomalías, esto es: ello sugiere que también en biología existe una relativa autonomía de la ciencia teórica. La fidelidad de los citólogos e histólogos a las exigencias lógicas tuvo la flexibilidad requerida, en resumen, para que el programa pudiera pervivir.

En 1841 (*Allgemeine Anatomie*), Henle aporta experiencias que le llevan a dudar de la preexistencia de los nucleolos en el proceso de la formación nuclear; en 1852, Remak descarta la formación exógena de las célu-

las; en 1857, Leydig señala lo equivocado de la concepción que estipula que la pared celular es un componente universal de cualquier célula. La lista de modificaciones que van reorientando la primera teoría celular es larga y ya ha sido repasada más arriba. Cada nueva modificación parte, más que de la «reprobación» experimental, de un *cambio progresivo o crítica constructiva* en el sentido de Lakatos. *Los experimentos cruciales menores* se suceden y resultan instancias habituales en que se decide entre dos versiones sucesivas. De acuerdo asimismo con la metodología de Lakatos, una versión no es abandonada si no hay una versión alternativa preparada para sustituirla y superarla. Son sus experiencias con los corpúsculos celulares las que mueven a Henle a poner en duda la hipótesis de la preexistencia de los nucleolos y a sustituirla por otra donde éstos se formarían por acumulación de alguna sustancia distinta, pero no anterior, a las granulaciones que están en el origen de los citoblastos: son los trabajos sobre la multiplicación de las células hemáticas y embrionarias (1841) los que conducen a Remak a reemplazar la hipótesis de la formación exógena por una doctrina de la división celular (1852) en la que es propugnado un origen endógeno; son las observaciones de Leydig y las de Max Schultze, en torno al protoplasma de varios protozoos y al de las células del músculo estriado, las que invalidan el presupuesto de la pared celular, permiten una redefinición de la célula y alientan una heurística positiva que tendrá sus mejores frutos en el descubrimiento de la membrana por Overton (1895).

El proceso de ajuste y revisión que implicaron las distintas versiones de la teoría celular se refería, como puede constatarse, tanto a elementos estructurales como semánticos del programa. No obstante, hay que afirmar que su identidad o continuidad en cuanto plan de investigación surgido de un eje teórico elemental nunca se perdió. Las dificultades nacidas de las anomalías no fueron «archivadas» sino *neutralizadas* hasta su asimilación en una versión más progresiva. Es decir, la supervivencia de la teoría no estuvo garantizada por la rigidez que Kuhn asigna a los paradigmas sino por la plasticidad que Lakatos piensa que rige las investigaciones gestadas al hilo de un proyecto teórico igualmente flexible. Para terminar, el requisito lakatosiano relacionado con la predicción de hechos nuevos tuvo preciso cumplimiento en numerosas anticipaciones luego confirmadas: la anticipación de la división nuclear por Ehrenberg, de la mitosis por Henle, de la existencia de una membrana celular por Remak o de la independencia y unidad de la neurona por Ramón y Cajal.

Este abundante repertorio de concordancias (entre el «crecimiento» de la teoría celular y el modelo de la dinámica de teorías que Lakatos postuló) posee un conjunto de consecuencias que valen como conclusiones al examen que hemos practicado. Son las siguientes:

1. La gestación y el desarrollo de la teoría de la célula son susceptibles de una *reconstrucción racional*.

2. *La historia externa*⁴⁶ resultaría insuficiente si, fundándose en la «psicología del descubrimiento» o en los factores psicosociales de la investigación, pretendiera *explicar* la conformación de la citología como ciencia y el camino que la ha llevado a su estado actual.
3. Las conclusiones 1 y 2 expresan la escasa aplicabilidad de la metodología de Kuhn, cuando menos a los aspectos dinámicos de esta rama de la biología.
4. La *reconstrucción racional* aludida en 1 es posible en términos de una lógica de la investigación, pero que no es la imaginada por Popper, pues opera a largo plazo.
5. La indulgencia con el programa de Schleiden y Schwann —pese a las anomalías detectadas— puede interpretarse como una manifestación de la autonomía de la ciencia teórica en la investigación biológica.
6. Las cinco conclusiones anteriores no son sino corolarios de una más general, ilustrada suficientemente: el esquema de Lakatos sobre los procesos de investigación simula mucho mejor que los de Kuhn o Popper la génesis y la articulación progresiva de la teoría celular.

Bibliografía

- ACKERKNECHT, E. H.: *Rudolf Virchow: Doctor, Statesman, Anthropologist*. University of Wisconsin Press, Madison, 1953.
- ALBARRACÍN, A.: «La teoría celular, paradigma de la biología del siglo XIX», *Dynamis*, 2, 1982, pp. 241-262.
- ALBARRACÍN, A.: *La teoría celular*. Alianza, Madrid, 1983.
- ASUA, A. J., y KLIMOVSKY, G.: «Ensayo de axiomatización de la teoría celular», *THEORIA - Segunda Epoca - Año II, Curso 1986-87, n.º 5-6*, pp. 389-399.
- BAKER, J. R.: «The Cell Theory: A Restatement, History and Critique», *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 89, 1948, pp. 103-125; 90, 1949, pp. 87-108; 93, 1952, pp. 157-190; 94, 1953, pp. 407-440; 96, 1955, pp. 449-481.
- BARONA, J. L. (ed.): *Bernard. Antología*. Península, Barcelona, 1989.
- BERNARD, C.: *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*. Paris, 1865. Reproducción facsímil a cargo de Culture et Civilisation, Bruselas, 1965.
- BOULE, L.: *Étude des fondements cytologiques du vitalisme*. Beauchesne, París, 1939.
- CANGUILHEM, G.: *La connaissance de la vie*. Librairie Philosophique J. Vrin, 2.ª edición, París, 1967.
- COLEMAN, W.: *La biología en el siglo XIX. Problemas de forma, función y transformación*. Trad. de G. Guerrero. Fondo de Cultura Económica, México D. F., 1983.
- COONEN, L. P.: *La génesis de la biología actual*. Trad. de N. Ortiz. Columba, Buenos Aires, 1964.

46. Sobre el uso que de este concepto hace Lakatos cfr. LAKATOS, I. «History of Science and its Rational Reconstructions», en BUCK, R. C., y COHEN, R. S. (eds.). *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 8, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Holanda), 1971, pp. 91-136.

- GRANDE, F., y VISCHER, M. B.: *Claude Bernard and Experimental Medicine. Collected Papers from a Symposium*. Schenkman, Cambridge (Mass.), 1967.
- HALL, T. S. (ed.): *Ideas of Life and Matter*. Chicago University Press, Chicago y Londres, 1969.
- HEMPEL, C. G.: *Filosofía de la ciencia natural*. Trad. de A. Deaño. Alianza, Madrid, 1976.
- HOOKE, R.: *Micrographia*. Londres, 1665. Reproducción facsímil a cargo de Culture et Civilisation, Bruselas, 1966.
- HUGHES, A.: *History of Cytology*. Abelard-Schumann, Londres-Nueva York, 1959.
- JACOB, F.: *La logique du vivant. Una histoire de l'hérédité*. Gallimard, París, 1971.
- KUHN, T. S.: *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, 1962.
- «Second Thoughts on Paradigms», en SUPPE, F. (ed.) *The Structure of Scientific Theories*. University of Illinois Press, Urbana, 1973, pp. 459-482.
- *The Essential Tension. Studies in Scientific Tradition and Change*. The University of Chicago Press, 1977.
- LAÍN ENTRALGO, P.: *Historia de la medicina*. Salvat, Barcelona, 1978.
- LAKATOS, I., y MUSGRAVE, A. (eds.): *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press, 1970.
- LAKATOS, I.: «History of Science and its Rational Reconstructions», en BUCK, R. C., y COHEN, R. S. (eds.) *Boston Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 8. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (Holanda), 1971, pp. 91-136.
- NORDENSKIÖLD, E.: *The History of Biology*. Tudor Publishing Company, Nueva York, 1966.
- POPPER, K. R.: *Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, Londres, 1959.
- *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge and Kegan Paul, Londres, 1963.
- *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford University Press, Londres, 1972.
- «La reducción científica y la incompletitud esencial de toda ciencia», en AYALA, F., y DOBZHANSKY, T. (eds.) *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Trad. de C. Pijoan. Ariel, Barcelona, 1983, pp. 333-364.
- RADL, E. M.: *Historia de las teorías biológicas*. Trad. de F. Díez. Alianza, Madrid, 1988.
- RAMÓN Y CAJAL, S.: *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*. Edición a cargo de Alberto Sols y Fernando Reinoso. Alianza, Madrid, 1981.
- RATHER, L. J.: *Disease, Life and Man: Selected Essays by Rudolph Virchow*. Stanford University Press, 1958.
- SCHAFFNER, K. S.: «Theories and Explanations in Biology», *Journal of the History of Biology*, 2, 1969, pp. 19-33.
- SCHLEIDEN, M. J.: «Beiträge zur Phytogenesis», *Arch. für Anat. Physiol. und Wiss. Med.*, 1838, pp. 137-176.
- SCHWANN, Th.: *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen*. Berlin, 1839.
- SINGER, C. A.: *A History of Biology*. Abelard-Schumann, Nueva York, 1959.
- VILLEE, C. A.: *Biología*. Trad. de R. Espinosa. Nueva Editorial Interamericana, 7.ª edición, Madrid, 1981.
- WOLFF, S. L.: *Biología de la célula*. Trad. de F. Torrellá y C. Casas. Omega, Barcelona, 1977.