

AVANCES Y AVALANCHAS DEL SIGLO XIX

De la teoría celular a la genética y la microbiología

Pedro Costa, *Ingeniero Técnico de Telecomunicación.*
Profesor de la EUITT de Madrid



Plaza central de la ciudad de Brno.

Paralelamente al desarrollo de las teorías de la evolución de los seres vivos, y particularmente de las ideas de Darwin (quien no se preocupó, por cierto, de los mecanismos puramente biológicos que hacen variar a las especies), tienen lugar avances decisivos sobre el conocimiento de la célula y los mecanismos embriológicos y de la reproducción que actúan en su interior. Con el conocimiento progresivo y profundo de la célula se in-

terpretarían los resultados de la hibridación de especies para establecer las leyes de la herencia (que tampoco llegaría a aprovechar Darwin para respaldar su teoría evolutiva), iniciándose una de las más apasionantes aventuras del conocimiento: la ciencia de la genética, íntimamente relacionada con la reproducción de la vida, aventura que estamos lejos de concluir ya entrado el siglo XXI, 150 años después. Llama la atención el predominio de cien-

tíficos alemanes en este siglo XIX, de pasmosos avances en biología general y genética (como en química, por lo demás); aunque hayamos de reconocer como personajes centrales al moravo Mendel y el francés Pasteur.

LA LABORIOSA CONSTRUCCIÓN DE LA TEORÍA CELULAR

El gran desarrollo de la biología habría de tener lugar a partir de la elaboración, progresiva y laboriosa de la “teoría celular”, en definitiva, la confirmación de que son las células los componentes elementales de los tejidos constituyentes de la vida. Pero este conocimiento ha ido construyéndose a lo largo del tiempo, arrancando incluso con las teorías —que tan elementales e incluso ingenuas nos parecen hoy— de la Grecia clásica, aristotélicas en particular. El gran impulso se va fraguando tras la Revolución científica del siglo XVII, marcada por el uso del método científico racional y, en el caso de la biología, por el empleo creciente del microscopio: de ahí proceden los nombres de Hooke¹, Malpighi, Grez...; y continúa en Alemania con la filosofía romántica de la naturaleza. Ya en el siglo XIX se acepta que la vida orgánica se organiza en torno a una fuerza fisiológica, concreta e interior, que se identificará con la célula; y en la década de 1830 llega a completarse lo esencial de una verdadera “teoría celular”, aun mostrando importantísimas lagunas en sus contenidos, en concreto los que después darían lugar a las teorías embriológica y reproductiva, así como a la de la herencia.

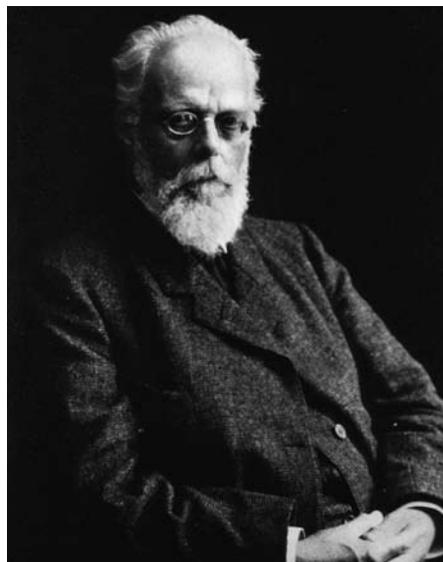
La teoría celular ha sido generalmente considerada obra de dos naturalistas alemanes, el botánico Matthias Schleiden (1804-81), profesor en Jena, y el zoólogo Theodor Schwann (1810-82), profesor en Lovaina; los trabajos concluyentes se sitúan en 1838-39, tras establecer ambos amigos, por separado, la identidad de las células vegetales y animales. Pero también fueron singularmente fecundas las décadas de 1820 y 30: el núcleo celular fue descubierto por Brown en 1831 estu-



Luis Pasteur.

diando la epidermis de las orquídeas; Schultze definió la célula como una “masa de protoplasma provista de núcleo” (1835); la noción de protoplasma, o materia celular, fue descrita por Dujardin ese mismo año; y pronto se pudo concluir en que las células eran los órganos básicos y constituyentes del edificio de la vida. La publicación por Schwann de la memoria correspondiente a esta teoría, *Investigaciones microscópicas sobre la analogía de estructura entre los animales y los vegetales* (1839) fue comparada por muchos, por su trascendencia, con *El origen de las especies*, de Darwin, aunque no suscitó polémica destacable alguna.

La teoría celular se fue ampliando y complementando con un mayor y mejor conocimiento de los mecanismos de la reproducción sexual, y con el reconoci-



August Weismann.

miento, más o menos hacia 1860, de que un nuevo ser necesitaba para su formación de la conjunción de dos células: un óvulo femenino y un espermatozoide masculino. Hermann Foly (1845-92) y Oskar Hertig (1849-1923) aclararon el proceso de fecundación al observar (1875) que en el interior del huevo fecundado se formaba un nuevo núcleo a partir de dos núcleos, correspondientes a las células masculina y femenina, que se aproximaban y fusionaban...

Y la misma teoría celular habría de conducir a la explicación del desarrollo embrionario, proceso que ya había sido enunciado magistralmente por Von Baër en 1828. Ernst Haeckel (amigo y defensor acérrimo de Darwin y el darwinismo, y creador del concepto de *ecología*, en 1866, con el que designó el estudio de los organismos en relación con su entorno) amplió las conclusiones obtenidas por Von Bär sobre el desarrollo embrionario, formulando la “ley de la biogenética fundamental”. Fue Von Baër quien poco antes había afirmado que el huevo de los mamíferos era una verdadera y única célula, repleta de materiales nutritivos.

CROMOSOMAS, REPRODUCCIÓN SEXUAL Y HERENCIA

El mismo año que quedaba establecida la fecundación el botánico Edouard Strasburger estudió la reproducción en las células vegetales mediante la división en dos de la célula y por lo tanto de los núcleos; y observó la aparición en el seno de cada núcleo de ciertas partículas fácilmente coloreables que, a su vez, se dividían en dos en el proceso de fusión celular. Otros científicos ampliaron estas investigaciones y Flemming, que extendió al reino animal los resultados de Strasburger, observó que en la división celular la partición de los corpúsculos se realizaba en sentido longitudinal, designando como *cromatina* a la sustancia que constituía esas partículas coloreables, a las que Waldeyer llamará *cromosomas* (1888).

Los cromosomas ocuparán gran parte de la investigación consiguiente. El belga Van Beneden determinó que éstos se encontraban en igual cantidad en los núcleos de ambos tipos de células, masculinas y femeninas, así como que el núcleo

¹ Robert Hooke fue el primero en emplear la palabra *célula* (1675).



Instituto Pasteur.

de la célula reproductora (madura) contenía el doble de cromosomas que el de la célula germinal que la originaba: la que Boveri llamaría “ley de reducción cromática”. Del comportamiento de los núcleos en la fecundación y del conocimiento progresivo acerca de los cromosomas los investigadores dedujeron, inevitablemente, que estaban ante el secreto de los caracteres hereditarios, propiedades contenidas en el núcleo celular. Y así, August Weismann (1834-1914), profesor de la Universidad de Freiburg, pudo elaborar una primera expresión de la “ley cromosómica de la herencia” (1887) aludiendo a la existencia de una sustancia hereditaria –que llamó *plasma germinativo*– que transportaba los rasgos y tendencias hereditarias, y que estaba contenida “en el núcleo de la célula germinativa y en aquella parte del filamento nuclear que a veces reviste la forma de asa o de varilla corta (los cromosomas)”.

Weissmann no alcanzaría a culminar dicha teoría, incurriendo en errores inevitables dado el conocimiento rudimentario sobre la esencia y el comportamiento de los cromosomas (ignorando, como casi todo el mundo, que desde 1865 Mendel había establecido dichos mecanismos). Sí resultaría Weismann de gran ayuda para el darwinismo al establecer, como señalaba Darwin sin disponer de los elementos biológicos necesarios, por una parte que la influencia de los factores somáticos puede hacerse sentir en los gérmenes por-

tadores de herencia, y por otra que estos gérmenes competían entre sí para alimentarse, imponiéndose los más fuertes sobre los débiles (que es el mecanismo de la selección natural, en este caso *germinal*); de esta forma se separaba claramente de la interpretación evolutiva lamareckiana, que señalaba la transmisibilidad de los rasgos adquiridos, situando la esencia de la evolución en las variaciones germinales fortuitas (es decir, en el azar).

EL INMENSO TRABAJO DEL DISCRETO MENDEL

Uno de los episodios más curiosos de la historia de la ciencia –por lo vulgar, al



Gregor Mendel.

tiempo que imprevisto– es el que registra el año 1900 cuando (en marzo) el botánico holandés Hugo de Vries (1848-1935) publica la importante aportación que para la genética supuso su “ley de disyunción de las especies”, al tiempo que daba a conocer que la mayor parte de sus conclusiones científicas habían sido ya obtenidas, nada menos que en 1865, por un oscuro monje moravo, Gregor Mendel (1822-84)². Mendel, nacido Johann, había desarrollado lo principal de su trabajo científico en la soledad y la discreción del convento agustino de Brno (capital de Moravia, entonces integrada en el Imperio austriaco y actualmente parte de la República checa), donde adoptó el nombre de padre Gregorio. Y aunque publicó la memoria descriptiva, corta pero densa, de su paciente y exhaustivo estudio realizado en 1855-65 sobre las leyes de la transmisión de caracteres en guisantes en el boletín de la Sociedad de Ciencias Naturales (1866) local su trabajo no trascendió, permaneciendo oculto durante decenios.

Esta memoria, *Experimentos sobre híbridos de plantas*, en la que se haya expresada toda la base de la genética, ha resultado de la mayor importancia para esta ciencia, que iniciaba en ese momento su fantástica historia. Mendel establece en ella dos leyes, la de la disyunción de los caracteres y la de la independencia de los caracteres. De este sabio monje, que tras ordenarse sacerdote estudió unos años en la Universidad de Viena y enseñó física e historia natural durante catorce años en la Escuela Técnica de Brno, se dijo que trabajaba como un físico, realizando experimentos repetibles y aplicando métodos estadísticos para analizar debidamente los resultados –lentos y puntillosos– y poder ofrecer unos resultados que primero lo sorprendieron vivamente, y luego asombraron al mundo científico tanto por sus contenidos como por haberse adelantado a todos en décadas.

En el trabajo experimental del concienzudo monje se han destacado estos elementos (aparte de la evidente tenden-

² De Vries había localizado la referencia al trabajo de Mendel en una obra del botánico Focke, publicada en 1881 pero que no había sido utilizada por ningún otro científico. Más o menos al mismo tiempo que De Vries, otros dos botánicos, el alemán Karl Correns y el austriaco Erik von Tschermak, llegaron a las mismas conclusiones



Casa de Mendel.

cia matemática de su espíritu): su interés central lo constituyeron los caracteres, no las razas ni los individuos; derrochó la paciencia y la facundia del campesino que era por extracción familiar y, diríase sin mucho margen de error, por vocación vital; tuvo la fortuna de acertar en la elección de la especie a estudiar, el guisante comestible (*Pisum sativum*), dada su adecuación por la relativa simplicidad fisiológica. Los primeros resultados los obtuvo Mendel cruzando guisantes de distintas características constitutivas, fuesen estas semillas (verdes o amarillas, redondas o arrugadas), tallos (cortos o largos), vainas (rectilíneas o no), flores (blancas o coloreadas)... encontrando una cadencia regular en la aparición de esos caracteres en las generaciones sucesivas tras el cruce. Así, atendiendo a uno cualquiera de esos pares de caracteres, en la formación de una primera generación (G1) aparecen ejemplares uniformes respecto de uno de esos caracteres (que recibe el nombre de *dominante*), con la desaparición aparente del otro (llamado *recesivo*); producida la fecundación natural, en la generación siguiente (G2) los individuos parecen connotados por el carácter dominante en $\frac{3}{4}$ del total y por el recesivo (oculto en G1) en $\frac{1}{4}$. Por autofecundación, con las semillas de G2 obtenemos una generación G3 en la que $\frac{1}{3}$ de las plantas dominantes dan exclusivamente el carácter dominante, y los otros $\frac{2}{3}$ de las plantas dominantes se dividen en $\frac{3}{4}$ con el carácter dominan-

te y $\frac{1}{4}$ con el recesivo; por su parte, las plantas de G2 con carácter recesivo resultan recesivas en su totalidad en G3.

De todo esto se derivaban varias consecuencias, que constituían el meollo de sus dos leyes, destacando el principio de la autonomía en la transmisión de los pares de caracteres, según esa cadencia comprobada una y otra vez. Esto demostraba la “independencia de los caracteres”, sentando la existencia de “unidades hereditarias” determinantes en el interior de las células germinales: serían los *cromosomas*, descubiertos trece años después.

Pero a esto siguió el silencio y fue una vez conocidas (y reconocidas) las leyes de Mendel cuando Thomas Hunt Morgan (1866-1945) completaría la teoría de la herencia. A partir del cambio de siglo, y tras la difusión de estas leyes, el estudio de la herencia avanzó muy rápidamente, extendiéndose al ámbito zoológico lo que hasta entonces afectaba casi exclusivamente al mundo vegetal. Quedaba pendiente, sobre todo, demostrar que la clave de la herencia, encerrada en los denominados “factores mendelianos”, se ubicaba en los cromosomas y esto correspondió dilucidarlo a Morgan y su escuela, que identificaron esos factores con los *genes*³. Los genes fueron definidos como moléculas grandes (del tipo de los virus-proteínas), existentes en número variable en los cromosomas

3 El término *gen* fue acuñado por el biólogo danés W. L. Johannsen en 1903.

celulares, cuya actividad depende de la posición en el conjunto cromosómico y cuyas variaciones son ligeras pero generales, pudiendo dar lugar, de forma azarosa y reducida a mutaciones; independientes en general a la influencia externa, pueden sin embargo resultar afectados por agentes duros y agresivos, como las radiaciones ionizantes.

De especial trascendencia resultó la elección que para sus trabajos Morgan hizo con la *Drosophila melanogaster*, o mosca del vinagre, no menos adecuada que el guisante utilizado por el monje moravo. Con la colaboración de Bridges, Sturtevant y Muller en pocos años quedó establecida la “teoría cromosómica de la herencia” (1915), con conclusiones empíricas sobre la ordenación lineal de los genes en los cromosomas, que ocupan una zona específica; la concreción de la base de la herencia en la *meiosis*, intercambio de fragmentos de cromosomas; la relación entre genes y caracteres, que no es tan sencilla como creía Mendel, reconociendo que múltiples acontecimientos en genética no se ajustan a ninguna de sus leyes, como el entrecruzamiento de fragmentos de cromosomas homólogos... Morgan también estudió las relaciones entre herencia y sexo, a partir de sus experiencias con la *Drosophila*, y sus trabajos sobre las relaciones entre cromosomas y genes fueron comparados con los que desvelaron la existencia real de moléculas y átomos. Fue premiado con el Nobel de Medicina y Fisiología en 1933.

De Vries realizaría maravillosas aportaciones a las leyes de la herencia, tras reconocer la anticipación tan notable que Mendel había hecho de sus mismas investigaciones. Estudiando la planta *onótera*, originaria de América y caracterizada por sus grandes flores, observó cierto número de caracteres anormales manejando las cantidades masivas con las que experimentaba y comprobó que estos rasgos aberrantes se transmitían luego en las siguientes generaciones: estaba descubriendo el hecho inesperado de las variaciones bruscas, de las mutaciones genéticas. Aunque la proporción de estas anomalías era siempre baja, del orden del 1 por mil, esto le permitió plantear una nueva teoría de la evolución, ya que el cambio tenía lugar en el propio germen, es decir, en el material genético básico y

sin ninguna relación con el medio exterior. A diferencia de Darwin y de Weismann, pues, De Vries señaló que la única forma de variación real de las especies es el modo brusco y esporádico, con lo que se acercaba a las –casi desechadas– tesis catastrofistas.

PASTEUR: EXCELSO MICROBIÓLOGO Y MÉDICO

El eminente microbiólogo Louis Pasteur (1822-95), uno de los científicos más prestigiosos de la segunda mitad del siglo XIX, tuvo originariamente una formación de químico, adquirida en la Escuela Normal Superior de París. Su tesis doctoral trató temas químicos y físicos, por mitades, y en su carrera docente fue profesor de secundaria en Dijon y en las universidades de Strasburg, Lille, la propia Escuela Normal Superior y, finalmente, la Sorbona, en la que desempeñó la cátedra de Química orgánica a partir de 1869. Destacó en sus trabajos sobre cristalografía, primero, y en fermentación láctea y alcohólica, después. Fue estudiando estos procesos –con la inestimable ayuda del microscopio– como se interesó por los microorganismos⁴, estudiando a fondo tanto la fermentación como la descomposición y putrefacción, desembocando en el estudio sobre la enfermedad, que fue lo que durante más tiempo atrajo su atención. Los microorganismos habían sido descubiertos en el siglo XVII por Anton Van Leeuwenhoek (1632-1723), comerciante autodidacta holandés que sin embargo dedicó sus mayores energías a construir y perfeccionar el microscopio, con el que descubrió protozoos y bacterias y que le permitió estudiar los espermatozoides y avanzar notablemente en los conocimientos biológicos de la época, pasando a ser uno de los precursores de la microbiología.

Fue Pasteur, desde luego, quien elevó la microbiología a la categoría de disciplina biológica plena y noble. Uno de sus primeros logros fue el descubrimiento (1855) de la intervención de las bacterias y levaduras en las fermentaciones

(láctea, alcohólica, acética...). Pero fue el establecer el rol de los microorganismos en las enfermedades humanas y animales lo que de hecho revolucionó la medicina en las últimas décadas del siglo XIX, siendo la creación de vacunas –siguiendo el rastro de Jenner y Roux– la labor médica objetiva por la que, sobre todo, se le recuerda. A partir de 1877 Pasteur y sus colaboradores se emplearon a fondo contra las enfermedades infecciosas en animales y humanos, en especial la del carbunco en corderos, poniendo a punto un procedimiento para su prevención. También estudió la rabia en humanos, elaborando la vacuna adecuada y consiguiendo un éxito espectacular al aplicarla en un niño afectado (1885), lo que dio origen a la vacunación moderna y a su propio mito como fundador de esa práctica; al poco consiguió la creación del Instituto Pasteur (1888), cuyo prestigio se mantiene. Descartó, definitivamente, las teorías que señalaban a los *humores* del organismo como causantes de las enfermedades, estableciendo rotundamente la “teoría microbiana de la enfermedad”.

Pero, más allá de sus importantes trabajos en patología –que es, en definitiva, el papel pernicioso de los microorganismos en la salud humana y animal–, Pasteur alcanzó notoriedad al sentirse obligado a intervenir en la agria polémica que tenía lugar en torno a la “generación espontánea”, lo que ocupó su atención entre 1860 y 1866. Esta cuestión de la “generación espontánea” ocupaba a fisiólogos y filósofos desde la Antigüedad (Aristóteles creía firmemente en ella pero también es verdad que Redi, en el siglo XVII ya había mostrado su escepticismo ante esa pretensión) y en definitiva pretendía que la vida animal y vegetal –principalmente, insectos gusanos y seres vivos pequeños– podía surgir de manera espontánea de la materia inorgánica. Pasteur, profundamente inmerso en el estudio de los microorganismos, se opuso tenazmente a esa teoría (“ninguna vida es posible sin vida precedente”) y para ello puso en práctica la interacción de distintas disciplinas y el extraordinario conocimiento adquirido (el físico-químico en primer lugar). No obstante, se guardó mucho de negar que lo vivo pudiera surgir de lo inerte “en alguna circunstancia”.

Pasteur tuvo que afrontar los escrúpulos y resistencias de la medicina oficial, aunque el reconocimiento de su labor, en vida, acabó siendo inequívoco. No escapó, sin embargo, a la polémica evolucionista, viéndose encuadrado él y sus partidarios entre los antidarwinistas (aunque Darwin expresó su aprecio por su persona y sus trabajos), debido a que negaba la capacidad de las especies de transformarse. Aunque Pasteur negaba tanto la generación espontánea como la transformación de las especies no descartó, en absoluto, que ambas pudiesen hacerse posible, experimentalmente. ●

BIBLIOGRAFÍA

- VV. AA. (2008): *Pasteur. Vida, pensamiento y obra*, El Mundo-Expansión, Madrid.
- MASON, S. E. (1986): *Historia de las ciencias. 4. La ciencia del siglo XVIII*, Alianza, Madrid.
- ROSTAND, Jean (1994): *Introducción a la historia de la biología*, Planeta-Agostini, Barcelona.
- TATON, R. (dir.) (1988): *Historia general de las ciencias. El siglo XIX, vol. V, Orbis*, Madrid.

4 El término *microbio* fue acuñado por Sédillot en 1878.