

## 13. El desarrollo de la fisiología y biología experimental

La fisiología es una parte importante del temario dentro de las asignaturas de Biología y Geología en la ESO y en Biología en el Bachillerato. Estudia las funciones de los seres vivos y, concretamente, las referidas al ser humano. Es la enseñanza de la fisiología humana la que tiene por objetivo el conocimiento de las funciones del organismo, la adquisición de la metodología experimental incipiente para su estudio y el desarrollo de actitudes frente al mantenimiento de la salud individual y de la comunidad, así como la prevención y el tratamiento de la enfermedad.

En cuanto a la cuestión del mantenimiento de la salud, el propio currículum integra la enseñanza de la biología fisiológica con las ciencias sociales. Al igual que comentábamos al tratar de las enfermedades infecciosas, el mantenimiento de una sociedad saludable es un constructo colectivo.

Veremos cómo a lo largo de la etapa de secundaria, están repartidos distintos sistemas en un creciente de complejidad. En tercero de la ESO los contenidos conceptuales incluyen el aparato locomotor, donde se estudian los huesos, músculos y articulaciones, así como la fisiología del movimiento y la interacción entre el sistema muscular y esquelético. También se analiza el sistema nervioso, comprendiendo sus componentes (cerebro, médula espinal y nervios), la transmisión de impulsos nerviosos y la coordinación corporal a través de reflejos. En el sistema endocrino, se examinan las glándulas endocrinas y hormonas, destacando su función en el control de procesos fisiológicos. Finalmente, en los sistemas circulatorio y respiratorio, se estudia la circulación sanguínea, el funcionamiento del corazón y vasos sanguíneos, así como la respiración, el intercambio de gases y la fisiología del sistema respiratorio.

En cuarto de la ESO los contenidos conceptuales sobre fisiología incluyen el sistema excretor, donde se estudia la fisiología de los riñones, el proceso de filtración de la sangre y la excreción de desechos; en el sistema digestivo, se

analizan los órganos del aparato digestivo, la digestión de los alimentos y la absorción de nutrientes. Finalmente, en el sistema inmunológico, se comprende cómo el organismo se protege de infecciones y enfermedades a través de sus mecanismos de defensa.

En segundo de Bachillerato los contenidos conceptuales abarcan la fisiología humana, con un estudio detallado de los sistemas nervioso, circulatorio, respiratorio, digestivo, excretor y endocrino, analizando los procesos fisiológicos esenciales para el funcionamiento del cuerpo. En la regulación del organismo, se profundiza en la homeostasis, los mecanismos de control hormonal y nervioso y la manera en que el cuerpo mantiene su equilibrio interno. Además, en el ciclo celular y la reproducción, se estudian los procesos de mitosis, meiosis y genética, fundamentales para el crecimiento y la división celular. Finalmente, se introduce la fisiología comparada, explorando aspectos básicos de la fisiología animal y vegetal, con el fin de ampliar la comprensión de los sistemas biológicos en diferentes organismos.

### **13.1. Introducción a la fisiología**

El término fisiología está relacionado con el estudio de las funciones y los procesos vitales de los seres vivos. Aunque biología y fisiología están profundamente conectadas, como ya hemos mencionamos en el recorrido histórico.

Las tres orientaciones principales del pensamiento fisiológico a finales del siglo XVIII, vitalismo, empirismo y mecanicismo, fueron asumidas por los investigadores del período romántico.

Entre 1800 y 1848 los principales resultados de la investigación fisiológica se hicieron en el ámbito de la digestión, demostrándose la existencia de ácido clorhídrico libre en la secreción gástrica normal por W. Prout; en 1824, se estudió por primera vez *in vivo* la digestión humana por W. Beumont y se descubrió la pepsina por Theodor Schwann en 1836. Asimismo, fue muy discutido el mecanismo del vómito, aclarándose considerablemente su papel en la digestión intestinal.

Las primeras décadas del siglo XIX estuvieron influenciadas por el idealismo racionalista alemán. Las máximas figuras fueron Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854) y Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832). Consideraban la existencia de una fuerza vital que regía el funcionamiento íntimo de los seres vivos, sobre los que actuarían tres fuerzas, en función de tres niveles de complejidad de la vida:

- Vida vegetal ← fuerzas reproductoras → crecimiento, nutrición y reproducción.
- Vida animal ← fuerza: irritabilidad → movimiento (muscular, cardíaco, sanguíneo).
- Vida humana ← fuerza: sensibilidad → funciones intelectuales superiores.

Paralelamente, se consolidó la escuela vitalista de Montpellier, representada por Xavier Bichat, Philippe Pinel, etc. El vitalismo planteaba la existencia de una fuerza o impulso vital sin el que la vida no podría ser explicada. Se trataría de una fuerza específica, ajena a la física y química, que actúa sobre la materia organizada y da por resultado la vida.

A partir de 1830 surge una respuesta ante ambas interpretaciones, basada en la defensa de la experimentación analítica como método de conocer la realidad biológica, integrándose la mecánica, la física y la química en el proceso de análisis del funcionamiento de los seres vivos.

### 13.1.1. Los inicios de la fisiología vegetal

La fisiología vegetal estuvo, en el siglo XVIII, más atrasada que la fisiología animal. En 1743 Calandrini expresó por primera vez la conjetura de que las hojas de las plantas tenían la función de recoger y absorber el rocío. Esto indujo a Charles Bonnet (1720-1793) a sumergir sarmientos de vid en grandes recipientes de cristal; enseguida observó que estos producían burbujas de aire mientras duraba la luz del Sol y, tras la puesta, el fenómeno cesaba. Esta observación abrió la puerta a miles de experimentos de la mano de jóvenes investigadores como Bonnet, Priestley, Senebier y De Saussure.

Stephen Hales (1677-1761) diseñó numerosos experimentos para explicar la actividad de las plantas en función de fuerzas físicas: midió la absorción de agua por las raíces, la evapotranspiración por las hojas, cálculos de velocidad de ascensión de la savia por el tallo, necesidad de aire (CO<sub>2</sub>) para el crecimiento. En 1727 publicó *Vegetable Staticks*, en la que recogía el grueso de sus experiencias con vegetales. Hales propuso que el agua y las sales minerales se transportaban por el xilema, mientras que otras sustancias lo hacían por el floema (1727); otros científicos en este campo fueron M. Malpighi, que describió el flujo de sustancias en la planta (1775) y J. Priestley, que sentó las bases para el descubrimiento de la fotosíntesis.

Podemos situar los inicios de la fisiología vegetal como disciplina con los trabajos del suizo Frenchman J. Senebier que editó una monografía en cinco volúmenes titulada *Plant Physiology*, en 1800.

## 13.2. La fisiología humana y animal experimental

El principal exponente de la nueva generación de fisiólogos fue Claude Bernard (1813-1878) con su *Introducción a la medicina experimental* (París, 1865). La revolución que el método experimental operó en las ciencias consistió en la implantación de un criterio objetivo en sustitución de la autoridad personal. Bernard consideraba que, frente a la observación, la experimentación aporta la capacidad de comprobar analíticamente las condiciones de verificación de los fenómenos, en condiciones previamente establecidas. Consideraba al experimento como una observación provocada con el fin de dar lugar al nacimiento de una idea.

El proceso lógico tiene tres etapas sucesivas: primero, la observación de fenómenos; segundo, comparación de observaciones y elaboración de un juicio hipotético; y tercero, la realización del experimento para la comprobación del juicio hipotético.

Bernard estudió la fisiología de la digestión, aclarando la función del páncreas y la función glucogénica del hígado; analizó la acción de venenos sobre el organismo (curare y otros productos vegetales), estudió el funcionamiento del sistema nervioso autónomo y el de la médula espinal.

A mediados del siglo XIX se consolidan dos escuelas de investigación fisiológica experimental: por un lado, la escuela francesa, y por otro, la alemana, con diferencias fundamentales metodológicas.

### 13.2.1. La escuela francesa

A finales del siglo XVIII, el desarrollo de la Química influyó profundamente en las investigaciones fisiológicas, particularmente a través de los trabajos de científicos como Antoine Lavoisier, quien contribuyó al avance de la Química mediante el diseño del calorímetro, lo que permitió estudios más precisos sobre la respiración y el metabolismo. Además, J. J. C. Legallois (1770-1814) llevó a cabo un análisis químico de la sangre, lo que abrió nuevas perspectivas sobre su composición y función en el cuerpo. En la misma época, François Magendie (1783-1855), uno de los principales defensores del empirismo fisiológico, se

destacó por su enfoque experimental y riguroso; como catedrático de fisiología en el Collège de France y maestro de Claude Bernard, Magendie realizó importantes estudios sobre la absorción tisular, la función de los nervios raquídeos, la acción de los alcaloides y el estudio del líquido cefalorraquídeo, aportando datos fundamentales sobre la fisiología del sistema nervioso y la farmacología.

Por su parte, Pierre Flourens (1794-1867), discípulo de Georges Cuvier en el Museo de Historia Natural de París, realizó investigaciones anatómicas y funcionales sobre el bulbo raquídeo, demostrando su papel crucial en el control de la respiración. También estudió la coordinación motora ejercida por el cerebelo y la importancia de los conductos semicirculares en el sentido del equilibrio, ampliando el conocimiento sobre el control motor y los sistemas sensoriales.

Todos estos científicos, con su enfoque experimental y sus métodos químicos y fisiológicos, contribuyeron significativamente a la comprensión moderna de la fisiología humana.

### 13.2.2. La escuela alemana

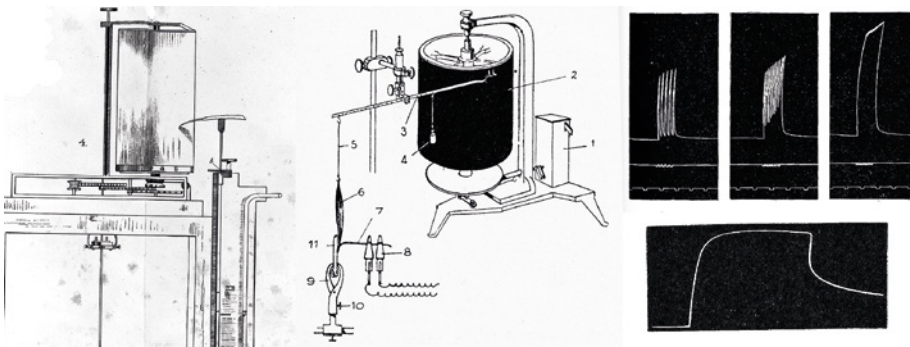
Johannes Müller (1801-1858) tuvo un importante rol en el desarrollo de la fisiología moderna. En su manual de fisiología de 1834, rompió con la interpretación idealista previa y abordó temas como el funcionamiento de los órganos de los sentidos y de la voz. Vinculó estrechamente la fisiología con la anatomía microscópica, así como la fisiopatología con la anatomía patológica. Formó una generación destacada de discípulos, entre ellos Henle, Schwann, Helmholtz, Du Bois-Reymond y Carl Ludwig. Hermann von Helmholtz (1821-1894), físico y médico, destacó por sus contribuciones en termodinámica, formulando el principio de conservación de la energía; inventó el oftalmoscopio y aplicó métodos físicos para medir parámetros biológicos. También midió la velocidad de transmisión del impulso nervioso y estudió la percepción de sonidos.

En la década de 1840 se produjo en Alemania el cambio de paradigma, de un enfoque vitalista-inductivo a otro mecanicista-hipotético-deductivo, en el que el experimento asumió el papel central. El iniciador de este nuevo enfoque fue un joven fisiólogo de Marburgo (Alemania), Carl Friedrich Ludwig (1816-1895); en su tesis de habilitación de 1842, sobre el estudio de la función renal<sup>340</sup>, aplicó un nuevo enfoque: el análisis y la explicación de los fenómenos

<sup>340</sup> Estudió la secreción renal basándose en el estudio de permeabilidad de membranas, la fisiología de los movimientos cardíacos, la inervación de las glándulas salivares, el intercambio de gases en la sangre y los efectos fisiológicos de la presión arterial.

vivos sobre la base de la física y la química, más que en la anatomía comparada. No obstante, sentía un gran respeto por los estudios morfológicos minuciosos y destacaba el papel complementario que desempeñaban las investigaciones fisiológicas y morfológicas en la elucidación de las funciones de los organismos vivos.

Ludwig desarrolló el quimógrafo, un dispositivo revolucionario para registrar gráficamente diversas funciones fisiológicas, como la presión arterial y la actividad muscular (figura 58). Consiste en un cilindro giratorio cubierto con papel ahumado sobre el cual una pluma o aguja registradora traza líneas que representan variaciones en una función fisiológica a lo largo del tiempo. Permitió medir y registrar datos con mayor precisión y de manera continua.



**Figura 58. A la izquierda, el quimógrafo de Carl F. W. Ludwig. Fuente: Wellcome Collection. En el centro, un quimógrafo dispuesto para registrar mediante un miógrafo la contracción de un músculo gastrocnémico de una rana. A la derecha, tres miogramas con distintas excitaciones<sup>341</sup>.**

Ludwig estableció en Leipzig un centro de investigación (en 1869) que se constituyó en modelo de institución de investigación fisiológica. El diseño del instituto reflejaba estas interrelaciones: el edificio tenía forma de E mayúscula, con alas dedicadas a la histología y la química, además de a la fisiología experimental, donde se hacía hincapié en la vivisección<sup>342</sup>. El instituto de Ludwig fue universalmente reconocido como el establecimiento más completo de su clase en Europa.

<sup>341</sup> Salustio Alvarado, *Anatomía y fisiología humanas con nociones de higiene* (Barcelona: Talleres gráficos S. G., 1934), 134-136.

<sup>342</sup> Wallace Bruce Fye, «Carl Ludwig and the Leipzig Physiological Institute: "a factory of new knowledge"», *Circulation* 74, n.º 5, 1986: 920-928.

En resumen: hay dos enfoques distintos en la tradición fisiológica francesa y alemana: los primeros tienden a considerar el ser vivo al completo y examinar sus reacciones “globales”, mientras los segundos descomponen los problemas y los reducen a sus condicionantes fisicoquímicos primarios. En el continente, en Francia y Alemania, la fisiología estaba más avanzada; en París y Berlín había cátedras establecidas ocupadas por fisiólogos notables.

En el caso de Reino Unido, aunque los cimientos de la fisiología fueron establecidos 200 años antes por William Harvey, y sustancialmente desarrollados por Stephen Hales, John Hunter y William Hewson, no existía una investigación organizada; cada persona trabajaba de forma independiente.

### **13.3. Periodo fecundo de la fisiología animal y humana como disciplina**

Tras la consolidación de los estudios fisiológicos modernos en Francia y Alemania, y por iniciativa de un grupo de fisiólogos, en 1885 se iniciaron las reuniones internacionales regulares de fisiología con el I Congreso Internacional de fisiología en Basilea, Suiza, en 1889. Estas reuniones se celebraron cada tres años (excepto en 1916, 1941 y 1944) y en ellas participaron fisiólogos de Europa y América.

En 1915, la fisiología referida al ser humano era una disciplina plenamente asentada. Las llamadas escuelas francesa y alemana de fisiología estaban firmemente desarrolladas. Hacía casi un siglo que François Magendie, valedor del empirismo fisiológico, había hecho sus trabajos sobre el sistema nervioso, 80 años que Johannes Müller había publicado su primera edición del *Handbuch der Physiologie* y 70 desde que Carl Ludwig había publicado su diseño del quimógrafo. Se cumplían 50 años de la publicación de la *Introducción al estudio de la medicina experimental* de Claude Bernard, donde se desarrolló el concepto de medio interno.

La revista *The Journal of Physiology* se publicó por primera vez en 1878; cuando la Physiological Society adquirió la revista, Charles Scott Sherrington fue nombrado primer presidente del consejo editorial en 1926.

#### **13.3.1. Concepto de homeostasis**

En Estados Unidos, el fisiólogo Walter B. Cannon (1871-1945) es reconocido como el primero en utilizar el término «homeostasis» en 1926, para describir

las condiciones que mantenían la constancia del medio interior. Según Cannon, el término no significaba algo fijo e inmutable, sino una condición relativamente estable, compleja, bien coordinada y generalmente estable. Reconoció la influencia de los fisiólogos Eduard Pflüger (1829-1910) y Léon Fredericq (1850-1935), así como de Hipócrates, en la formulación del concepto. En 1877, Pflüger afirmó que la causa de todas las necesidades de un ser vivo es también la causa de su satisfacción. Por su parte, Fredericq señaló en 1885 que el ser vivo es una organización capaz de que cualquier influencia perturbadora desencadene una actividad compensatoria que neutraliza o repara el daño.

### 13.3.2. El cerebro y el comportamiento

A lo largo del último tercio del siglo XIX surgió una tradición de investigación fisiológica “holista”, que enfatizaba el funcionamiento del animal (y de su sistema nervioso), frente a la tradición analítica y reduccionista. Los procedimientos experimentales diseñados por estos trabajaban con animales enteros, en los que se practicaban disecciones cuidadosas e intervenciones quirúrgicas, estimando a continuación las respuestas sensitivas o motoras. Los máximos exponentes de esta interpretación fueron los fisiólogos Charles S. Sherrington (1857-1952) e Iván Pavlov (1849-1936).

Con sólida formación anatómica (y sobre la base de los hallazgos de Cajal) Sherrington definió el concepto de «sinapsis» y estudió la transmisión del impulso nervioso, comprobando las vías de transmisión sensitiva a través de la médula y la reacción motora desencadenada, de forma refleja o modulada, por la corteza cerebral.

Sherrington adoptó el nuevo espíritu reinante en el campo de la fisiología: tomar de la tradición mecanicista-reduccionista sus aspectos racionalista y experimental, así como su convicción de que el organismo actuaba de acuerdo con las leyes de la física y de la química, pero rechazar los modelos mecánicos simplistas. En 1906 publicó *Integrative action of the Nervous System*, obra clásica de la interpretación holista en que se detalla cómo las respuestas reflejas son moduladas por combinaciones de estímulos y cómo la recepción de estímulos y respuestas ante estos están regulados por una estructura jerárquica de control.

Sherrington estableció tres niveles de estudio en los procesos neurofisiológicos: nivel físico-químico dentro de cada neurona o neurona-neurona, la integración de los diversos circuitos en un organismo, y un tercer nivel, la integración de mente-cuerpo.

Sherrington era consciente de que los dos primeros niveles de estudio eran asequibles para la indagación. En años sucesivos otros investigadores, Edgar Douglas Adrian (1889-1977) –con quien Sherrington compartió Premio Nobel en 1932–, John Eccles (1903-1997) o Andrew Huxley (1917-) –nobeles en 1963– continuarían esa línea de investigación.

En Rusia, Pavlov se basó en esta nueva comprensión fisiológica de la forma de actuar, destacando una distinción crucial entre lo que se denominó actos reflejos incondicionados y actos reflejos condicionados con perros que salivan y perros que salivan cuando antes se les había puesto carne en polvo (figura 59).



**Figura 59. Cinco perros sometidos a experimentos sobre secreción gástrica en el Departamento de Fisiología del Instituto Imperial de Medicina Experimental de San Petersburgo. Fotografía, 1904. Fuente: Wellcome Collection.**

### 13.3.3. Estudios sobre las hormonas y el sistema endocrino: descubrimientos de Starling

La palabra hormona fue utilizada por primera vez por Starling (1905) para describir la naturaleza de la sustancia «secretina» inicialmente descrita por Bayliss y Starling<sup>343</sup>. Así pues, Starling definió «hormona» como una sustancia producida normalmente en las células de alguna parte del cuerpo y transportada por el torrente sanguíneo a partes distantes a las que afecta para el bien del cuerpo en su conjunto. De esta manera, la hormona debía provocar alguna

<sup>343</sup> Leicester, *Development of Biochemical Concepts from Ancient to Modern Times*, 227.

alteración metabólica en el órgano diana, o más concretamente en la célula diana, sobre la que actúa para que pueda lograr una respuesta fisiológica final.

Las vivisecciones fueron práctica habitual en la experimentación y en las clases de fisiología (figura 60). Este perro fue utilizado por primera vez en vivisección en diciembre de 1902 por Starling, que le abrió el abdomen y le ligó el conducto pancreático. Durante los dos meses siguientes, el perro vivió en una jaula hasta que Starling y Bayliss volvieron a utilizarlo para dos procedimientos el 2 de febrero de 1903, día en que estaban presentes Lind y Schartau. Las mujeres alegaron que Bayliss diseccionó ilegalmente al perro mientras estaba despierto.



**Figura 60.** A la derecha, un cuadro de Ernst Henry Starling haciendo una vivisección y, a la izquierda, dirigiendo un experimento que dio lugar a la disputa sobre la vivisección del «perro marrón». Fuente: Wellcome Collection.

### 13.4. El desarrollo de la fisiología vegetal

Los trabajos sobre los procesos de crecimiento y desarrollo en vegetales derivan de las primeras investigaciones que se realizaron a principios de siglo xx. Como la de G. Krebs que trabajó, en 1903, sobre el efecto de los distintos factores ambientales en la fisiología vegetal; el descubrimiento del fotoperiodo de Garner y Allard, en 1920; o la teoría hormonal sobre tropismos del modelo Went-Cholodny propuesto en 1937.

La idea de que el crecimiento de las plantas pudiera estar regulado por hormonas encontró resistencia en la comunidad de fisiólogos vegetales, ya que las evidencias apuntaban más a los efectos de los minerales en el crecimiento. Pero pronto se reconoció la importancia de las hormonas para comprender cómo las plantas regulan su crecimiento y su respuesta a estímulos ambientales. En los

años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, los artículos dedicados a la auxina, a las hormonas y el desarrollo vegetal llegaron a constituir alrededor del 20% del contenido de la revista *Plant Physiology*<sup>344</sup>. La auxina, la nutrición mineral, el crecimiento vegetal, el desarrollo y la morfogénesis siguen siendo los focos de mucha investigación publicada en la revista, aunque las herramientas disponibles para estudiar estos temas han cambiado. A partir de la determinación de la auxina en 1934, otras hormonas fueron definidas (tabla 13).

**Tabla 13. Descubrimientos en hormonas vegetales**

Estudio y autores	Fecha
Went y Thimann: Aislamiento del ácido indolacético (AIA), principal auxina natural en plantas. Estudio de la composición de la auxina por F. Kögl.	1933-1937
Propuesta de L. M. Chailakhian sobre la existencia de una hormona de floración, a la que llamó florígeno.	1930-1940
Demostración de H. Bortwick de la inducción floral por luz roja.	1946
Gibberelinas: Aisladas por primera vez en Japón a partir del hongo <i>Gibberella fujikuroi</i> .	1955
Hipótesis sobre la naturaleza dual del florígeno.	1958
Miller y Skoog y el estudio de la hormona citocinina promotora de la división celular.	1957
V. O. Kazarian, correlación entre los procesos de senescencia de las hojas y las raíces.	1959
Se empieza a estudiar el etileno como hormona gaseosa que regula la maduración de frutos.	1965

El descubrimiento de las auxinas permitió entender que muchas etapas del desarrollo de órganos vegetales, como la formación de raíces, son reguladas por estas sustancias. Investigadores como Sachs, Van der Lek, Went, Bouillenne y Thimann aportaron pruebas y lograron aislar e identificar la auxina como el compuesto responsable<sup>345</sup>. Además, hormonas como las giberelinas, citoquininas, el ácido abscísico y el etileno juegan roles importantes en la germinación, la floración, el ciclo de vida y la respuesta a estrés de las plantas. Went y Thimann definieron la hormona como una sustancia que, al ser producida en una parte cualquiera del organismo, se transfiere a otra parte y allí influye en

<sup>344</sup> Mike Blatt, «Plant Physiology 90th Anniversary», *Plant Physiology* 171 (2016): 1787-1789.

<sup>345</sup> Frits Warmolt Went, y Kenneth Vivian Thimann, *Plant hormones, Growth (Plants)* (New York: The Macmillan Company, 1937), 14-15.

un proceso fisiológico específico. Pusieron énfasis en la idea de que no es necesario que la hormona se produzca en órganos específicos, sin embargo, especificaron que los puntos de producción y respuesta debían estar espacialmente separados<sup>346</sup>.

En 1939, Robert Hill (1899-1991) demostró que los cloroplastos aislados podían liberar oxígeno al ser iluminados en presencia de un aceptor artificial de electrones, como el ferricianuro, confirmando que el oxígeno liberado proviene del agua y no del CO<sub>2</sub>. En 1943, R. Emerson observó una disminución en la actividad fotosintética bajo luz de 680 nm, fenómeno conocido como el «efecto Emerson», lo que ayudó a identificar los centros de reacción de los fotosistemas. Finalmente, en 1951, L. Duysens evidenció la transferencia de energía entre pigmentos fotosintéticos<sup>347</sup>. En 1954, Daniel Arnon (1910-1994) y su equipo de Berkeley descubrieron la síntesis de ATP durante la fotosíntesis. En 1961, el británico P. Mitchell, Premio Nobel de Química de 1978, propuso la hipótesis quimiosmótica para explicar este proceso, atribuyéndolo al transporte de electrones. La síntesis de ATP ocurre en el tilacoide y es catalizada por la ATP sintasa.

En el horizonte de la fisiología vegetal está el desarrollo de las técnicas de cultivo *in vitro* y de la ingeniería genética de plantas; lo que hoy conocemos como Biotecnología vegetal. En los últimos años, la biotecnología vegetal ha permitido, no solo la mejora genética de las plantas, sino también conocer muchos de los genes implicados en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal, investigar los mecanismos que controlan su desarrollo y sus respuestas a factores de estrés biótico y abiótico.

<sup>346</sup> Went y Thimann, *Plant hormones, Growth (Plants)*, 3.

<sup>347</sup> Ana María Ortuño Tomás, Licinio Díaz Expósito y José Antonio Del Río Conesa, «Evolución de la fisiología Vegetal en los últimos 100 años», *Revista Eubacteria. Cien años de avances en ciencias de la vida* 34 (2015): 79.