

REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA



2020, Volumen 5, Número 2: 442-449

Botánica, ¿qué hay en un nombre?

Juan José Guiamet

1

Instituto de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de La Plata – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina. jguiamet@fcnym.unlp.edu.ar



Botánica, ¿qué hay en un nombre?

Juan José Guiamet

Instituto de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de La Plata – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.
jguiamet@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN. La emergencia reciente de nuevas áreas de investigación biológica, como por ejemplo la Biología Molecular, ha introducido tensiones con las disciplinas establecidas desde hace más tiempo. En referencia estricta a las plantas como objeto de estudio, Biología Vegetal parece encaminarse a reemplazar al término Botánica, agregando al estudio de los organismos vegetales nuevos niveles de organización (v.g., celular, molecular). En este artículo me propongo dar algunos ejemplos relevantes sobre los aportes derivados de la incorporación de los enfoques celulares y moleculares al conocimiento sobre las plantas, e intentaré abogar por una mayor integración entre los estudios en distintos niveles de organización biológica.

Palabras clave: *Botánica, Biología Vegetal, Biología Celular y Molecular*

ABSTRACT. Botany, what's in a name? The recent emergence of new biological disciplines, e.g., Molecular Biology, has created tensions with previously established fields of biological inquiry. Regarding plants as subject matter, the term Plant Biology is increasingly being used instead of Botany, and this brings new levels of organization into focus. In this article I intend to give a few relevant examples of the knowledge provided by the addition of cell and molecular biology approaches to the study of plants, and I will advocate for a deeper integration of plant studies at different levels of organization.

Key words: *Botany, Plant Biology, Cell and Molecular Biology*

RESUMO. Botânica, o que há em um nome? O surgimento recente de novas áreas de pesquisa biológica, como por exemplo a Biologia Molecular, introduziu tensões com disciplinas estabelecidas há mais tempo. Em referência estricta às plantas como objeto de estudo, Biologia Vegetal parece encaminhar-se a substituir o termo Botânica, acrescentando ao estudo dos organismos vegetais novos níveis de organização (por exemplo, celular, molecular). Neste artigo, pretendo dar alguns exemplos relevantes das contribuições derivadas da incorporação

dos enfoques celulares e moleculares ao conhecimento sobre as plantas, e tentarei defender uma maior integração entre os estudos em diferentes níveis de organização biológica.

Palavras-chave: *Botânica, Biologia Vegetal, Biologia Celular e Molecular*

Introducción

En un número reciente de la Revista del Museo de La Plata, el artículo “El fin de la Botánica” (Crisci *et al.*, 2019) avizora un futuro incierto para esta disciplina científica. Este artículo sugiere que, a nivel mundial, la Botánica se encontraría en retroceso en la estima de alumnos, de algunos científicos y de instituciones de estímulo de las ciencias, y que numerosos programas de importancia para la investigación botánica, y en particular para el resguardo de colecciones y el funcionamiento de herbarios, están al borde de colapsar debido a recortes presupuestarios y a la desatención oficial. Permea la idea de que esta situación es exacerbada por la preferencia de parte de instituciones financiadoras, universidades y el resto de la comunidad científica, entre otros, por la Biología Molecular y que la Botánica podría estar entonces condenada a languidecer hacia su extinción. Sin desconocer que posiblemente el financiamiento para la investigación en los temas que comprende la Botánica “clásica” está actualmente sujeto a restricciones (restricciones experimentadas también por otras disciplinas científicas en medio de políticas generalizadas de ajuste fiscal), me propongo aquí ofrecer una visión más optimista y temáticamente inclusiva sobre el futuro de las investigaciones sobre las plantas, y examinar críticamente el impacto de la incorporación de nuevos enfoques celulares y moleculares en la comprensión actual de los procesos que ocurren en las plantas, o que las involucran.

Botánica o Biología Vegetal

En las últimas décadas el término “Biología Vegetal” ha ido desplazando progresivamente a “Botánica”. Este cambio puede parecer inconsecuente para algunos, o de implicancias catastróficas para otros. ¿Aluden estos términos a distintas disciplinas, con diferentes objetos de estudio? ¿O pueden aplicarse acá las palabras que Shakespeare puso en boca de Julieta: “¿Qué hay en un nombre? Lo que llamamos rosa tendría el mismo perfume aunque se le diera otro nombre cualquiera.” (Romeo y Julieta, Escena II, Acto Segundo).

El Diccionario de Botánica compilado por P. Font Quer (1953) establece que Botánica “*es el nombre de la ciencia que se ocupa de todo lo referente a las plantas*”, sin hacer distinción entre procesos que operan en los distintos niveles de organización biológica (v.g., celular, individual, poblacional). En forma similar, el Tratado de Botánica de Strasburger (1994) ya en su primera página dice que “*La Botánica es la ciencia de las plantas*”, y en la página 9 de la Introducción afirma que “*Dentro de la botánica pueden distinguirse líneas de trabajo de acuerdo con los diferentes niveles de organización, desde las moléculas y las células, pasando por los tejidos y órganos, hasta los individuos, las poblaciones y las comunidades vegetales*”. La Botánica, entonces, estaría definida por los taxones estudiados, y no por los niveles de organización biológica abarcados. Consecuentemente con esta definición, el tratado de Strasburger dedica una parte no menor del texto a temas celulares y moleculares, fundamentalmente en las Partes Primera (Morfología) y Segunda (Fisiología). Para citar unos pocos ejemplos, discute la estructura y microestructura de la célula, los procesos de exocitosis y endocitosis (p. 28), la adaptación cromática de cianobacterias y rodofíceas como resultado de cambios transcripcionales en la expresión de distintas biliproteínas (p. 267-268), o el *splicing* de intrones y procesamiento de ARNs mensajeros (p. 318). En esta línea, Botánica y Biología Vegetal parecen sinónimos, sin una distinción clara entre uno y otro término.

Si Teofrasto (371-287 a.C.) puede ser considerado uno de los fundadores de la Botánica, es inevitable reconocer, entonces, que los estudios Botánicos han cambiado sustancialmente desde sus orígenes, y que estos cambios debieron suponer desafíos enormes para los botánicos del pasado. Es fácil imaginar el reto que presentó desde finales del siglo XVII la incorporación de la microscopía y los microscopios compuestos que develaron un nuevo mundo a los ojos de los botánicos de aquel entonces (Rostand, 1945). El costado invisible de las plantas se hacía aparente por primera vez a los botánicos, algo que cambiaría para siempre el enfoque de la disciplina. Es claro que el abordaje microscópico no formaba parte del arsenal de métodos e ideas de los primeros estudiosos de las plantas, pero la Botánica aparentemente tuvo pocos inconvenientes para incorporar este nuevo campo de fenómenos e ideas, y los instrumentos, aproximaciones experimentales y metodologías que conlleva. De manera similar, el enfoque evolutivo no estaba contemplado en el uso original que se dio al término Botánica, ni constituía parte del campo de estudios cuando el término fue acuñado. Sin embargo caben pocas dudas sobre la importancia de estos enfoques para moldear los estudios sobre plantas y la composición actual de la disciplina. Es posible que la Botánica se encuentre hoy en una situación y frente a un desafío similar, “invitada” a integrar algunos de los sólidos desarrollos de la Biología Celular y Molecular de Plantas y a utilizarlos para construir un conocimiento más completo de los organismos que la ocupan.

Planteado de esta forma, parecería que lo que distingue a la Botánica “clásica” de la Biología Vegetal son los niveles de organización biológica atendidos por cada una de ellas, es decir, la Biología Vegetal incorporaría, entre otras disciplinas, la Biología Celular y Molecular a la Botánica clásica. En tal caso, es válido aquí preguntar ¿qué aportan los descubrimientos de la Biología Celular y Molecular al conocimiento sobre las plantas? ¿Es esta incorporación un ejercicio superfluo, más o menos “ornamental”, o una fuente de nuevos conocimientos que se deben integrar en el cuerpo de saberes sobre las plantas y su funcionamiento?

Biología Celular y Molecular de Plantas: ¿reduccionismo o complementariedad con los estudios en otros niveles de organización?

Es frecuente que en las comunidades académicas centradas en la tradición de la Botánica “clásica” se piense que la Biología Molecular tiene importancia como técnica auxiliar en estudios filogenéticos y taxonómicos. Sin ser errónea, esta afirmación representa una verdad parcial que desconoce las otras muchas contribuciones de los enfoques celulares y moleculares al estudio de los organismos vivos. Se critica a la Biología Molecular también por su supuesto enfoque reduccionista, que indudablemente es real en muchos casos, sin entender que esto debería constituir un motivo para integrar estos estudios en los niveles de organización más complejos, no para aislarlos en compartimientos estancos (Mazzochi, 2012). El estudio de las plantas es pródigo en ejemplos de la integración exitosa de estudios moleculares al cuerpo clásico de conocimientos botánicos, explicando de esta manera con mayor profundidad aspectos de la morfología, el funcionamiento, la evolución y la distribución geográfica de las especies que, de otra manera, se conocerían en forma incompleta. A continuación pretendo examinar solamente algunos casos de conocimientos moleculares que han expandido sustancialmente nuestra comprensión sobre las plantas, como ejemplos de la potencialidad de la integración de estos nuevos enfoques en el cuerpo de la Botánica.

Podemos comenzar por la morfología floral, uno de los caracteres más particulares de cada especie angiosperma, y suficientemente invariable como para constituir la base de la clasificación sistemática de las plantas. En las últimas décadas se ha comenzado a dilucidar el mecanismo molecular que determina la identidad de los órganos de cada verticilo floral y las variaciones de este mecanismo en distintos taxones, asociadas con las distintas morfologías florales, desde las angiospermas basales hasta las *Poaceae* (v.g., Coen & Meyerowitz, 1991; Weigel & Meyerowitz, 1994; Bommert *et al.*, 2005; Soltis *et al.*, 2007; Chanderbali *et al.*, 2016). El modelo ABCE muestra que los genes agrupados en las clases A, B y C se expresan específicamente en distintos verticilos florales, y que la identidad del órgano que ocupe un verticilo dado viene determinada por la

combinación de A, B y/o C expresados en ese verticilo. Entendiendo la distribución espacial de la expresión de representantes de las clases A, B, y C, y la existencia de campos morfogénicos netamente diferenciados o con límites borrosos, es posible explicar muchos aspectos de la morfogénesis de las flores desde las Angiospermas basales (v.g., *Amborella trichopoda* Baill.) hasta las Eudicotiledóneas (Soltis *et al.*, 2007). Estos nuevos aportes han profundizado el conocimiento del desarrollo floral, y también han confirmado conocimientos previos (v.g., han confirmado que los órganos florales representan hojas modificadas, y que por defecto, no mediando la expresión controlada de los genes de las clases A,B y/o C, los órganos florales aparecen reducidos a estructuras foliosas, Buchanan *et al.*, 2015). El modelo ABCE explica cómo se determina la identidad de cada órgano, y cómo variaciones en este mecanismo explican la gran variedad de morfologías florales existentes, algo que antaño pertenecía al terreno de lo misterioso. Una gran cantidad de otros procesos importantes de la morfogénesis vegetal han sido estudiados con la intención de develar los mecanismos moleculares subyacentes, no solamente en *Arabidopsis thaliana* L. sino también en muchas otras especies, incluyendo el desarrollo y diferenciación de las células de la epidermis y de los elementos de conducción y el mesófilo, la diferenciación y desarrollo de estomas, la formación de pelos radicales y de tricomas foliares, el desarrollo del embrión, y las inter-conversiones entre los distintos tipos de plástidos, entre muchos otros procesos (para ver más ejemplos se puede consultar Buchanan *et al.*, 2015). Finalmente se empieza a responder una pregunta fundamental, *i.e.*, cómo células conteniendo todas un genoma idéntico generan la diversidad de formas y funciones características de los órganos y tejidos de las plantas adultas, y qué mecanismos causan la variabilidad morfológica que observamos en distintas familias, géneros y especies.

Otros temas que languidecían faltos de progreso, tales como la transmisión desde las hojas a las yemas del estímulo fotoperiódico que desencadena la floración (el conocido pero hipotético ‘florigen’ que constituyó un enigma para los botánicos desde la década de 1940) han renacido al ser inspeccionados nuevamente con los enfoques y herramientas de la Biología Molecular. Se trata de la incorporación de conceptos y conocimientos, no meras técnicas (por más útiles que estas sean) que han expandido nuestro saber sobre las plantas, y han abierto nuevas líneas de indagación. Por ejemplo, al demostrar la participación de proteínas movilizadas a través del floema en la señalización entre distintos órganos se ha ampliado notablemente el repertorio de la señalización correlativa (inter-orgánica) en plantas (Turck *et al.*, 2008). Más allá de las aplicaciones que estos descubrimientos pueden tener en varias áreas de la Biología, estos ejemplos muestran la potencialidad de la Biología Molecular aplicada juiciosamente y sin pretensiones reduccionistas para avanzar en temas que habían permanecido estancados durante décadas.

Un apartado interesante con varias moralejas posibles es el abordaje del metabolismo fotosintético C₄. Las plantas C₄ representan alrededor del 3% de las especies vegetales, pero aportan cerca del 23% de la productividad primaria de los ecosistemas terrestres del planeta, por lo que su importancia ecológica no debe ser subestimada. Desde su descubrimiento en la década de 1960 (Raghavendra & Sage, 2011) este metabolismo ha capturado la atención de botánicos, ecólogos y agrónomos por las altas tasas de fotosíntesis y alta eficiencia en el uso del agua de las plantas C₄. No debe sorprender entonces que esté en marcha un proyecto audaz (y posiblemente algo ingenuo) para transformar el arroz, de metabolismo fotosintético C₃, en una planta C₄ con la esperanza de aumentar la actividad fotosintética y el ritmo de crecimiento de este cultivo (www.c4rice.com). El metabolismo C₄ ha ofrecido un atractivo escenario para la manifestación de todos los defectos reduccionistas en que puede caer una investigación biológica. La sugerencia de que solamente la expresión de genes fotosintéticos C₄ en especies C₃ es suficiente para modificar la fotosíntesis (v.g., Rangan *et al.*, 2016) ha suscitado severas objeciones (Busch & Farquhar, 2017) de quienes señalaron correctamente las numerosas modificaciones morfológicas que acompañaron la aparición de las especies C₄ y que, hasta no tanto tiempo atrás, se resumían en la anatomía Kranz (Edwards & Voznesenskaya, 2011). Expresar solamente algunas proteínas fotosintéticas C₄ sin las modificaciones morfológicas y anatómicas que permiten el funcionamiento correcto de este metabolismo (v.g., una venación densa, abundantes plasmodesmos entre las células del mesófilo y la vaina del haz vascular,

Danila *et al.*, 2016, compartimentalización de Rubisco en un ambiente enriquecido en CO₂, etc) es muy posiblemente un ejercicio inútil, y un ejemplo destacado de fe reduccionista.

Sin embargo, la estricta correspondencia observada en el pasado entre metabolismo C₄ y anatomía Kranz fue probablemente el resultado de examinar este tema exclusivamente con herramientas morfológicas y anatómicas. Cuando se aplicaron simultáneamente métodos fisiológicos, celulares y moleculares resultó aparente la existencia de especies de la familia Amaranthaceae que llevan a cabo el metabolismo C₄ en ausencia de anatomía Kranz (*i.e.*, C₄ con compartimentalización en una sola célula, *v.g.*, Edwards *et al.*, 2004; von Caemmerer *et al.*, 2014). Esto no significa que no sea necesaria la compartimentalización a la que aludimos anteriormente, pero muestra que el mismo resultado puede lograrse por distintos medios: con dos tipos celulares diferenciados, y diferenciables al microscopio óptico (anatomía Kranz) o compartimentalizando el metabolismo en una sola célula. A veces, *lo esencial es invisible a los ojos*, y los métodos de la Botánica tradicional no son suficientes para develar aspectos importantes del funcionamiento de las plantas. El metabolismo C₄ es un buen ejemplo de la necesidad de integrar abordajes en distintos niveles de organización y con diferentes herramientas experimentales y analíticas para comprender los organismos vivos (Mazzocchi, 2012). El estudio de la evolución polifilética del metabolismo C₄ posiblemente arroje más sorpresas en el futuro, pero el descubrimiento de estas “sorpresas” y su valoración exigirá una aproximación integrando el estudio en varios niveles de organización, incluidos los niveles celular y molecular.

El enfoque reduccionista claramente constituye una aproximación sesgada al estudio de los organismos vivos, pero el error recíproco sería asumir que podemos entender los seres vivos sin referencia a procesos que ocurren en los niveles de organización más sencillos, los que claramente al menos imponen límites al rango de variación morfológica y geográfica que una especie puede explorar. Es un hecho reconocido que la abundancia de especies C₄ disminuye con el aumento de la latitud, y la consiguiente disminución de la temperatura media, como demostraron Teeri & Stowe (1976), por ejemplo, para América del Norte. La explicación más parsimoniosa de este fenómeno es que varias enzimas clave del metabolismo C₄ tienen temperaturas óptimas de actividad relativamente altas (Sage *et al.*, 2011). Aquí, soslayar la información bioquímica y molecular puede condenarnos a la incomprensión del fenómeno en estudio en un nivel de organización más complejo (biogeográfico). De forma similar, la ausencia de especies C₄ en los sotobosques es explicada por el requerimiento extra de ATP de este metabolismo, en comparación con el metabolismo fotosintético C₃ (Raghavendra & Sage, 2011).

El reduccionismo no es una aproximación válida al estudio de sistemas complejos como los que presenta la Biología, pero el abordaje solamente en los niveles complejos puede carecer de información relevante para el entendimiento de esos mismos sistemas. Es necesaria, entonces, una visión que intente integrar los conocimientos relevantes en todos los niveles de organización acerca de, por ejemplo, un organismo, para permitir la comprensión necesaria y posible de la Biología entrado el siglo XXI (Hammer *et al.*, 2004; Mazzocchi, 2012). Sin dudas esto plantea el desafío mayúsculo de integrar comunidades de científicos con intereses, experticias (tanto teóricas como metodológicas) y fortalezas diferentes, y en no pocos casos una cuota de recelo mutuo. Entender procesos tan complejos como la Vida, en todos sus planos y diversas manifestaciones, requiere de estas interacciones (no solo de carácter aditivo, sino fundamentalmente, sinérgicas) entre los practicantes de distintas ramas de la Biología, por difícil que sea llevarlas a cabo.

El carácter necesariamente integrado de las investigaciones sobre plantas

Frecuentemente se argumenta, con razón, sobre la utilidad social de las colecciones botánicas como material de referencia para la identificación de especies tóxicas o nocivas, la preservación de genotipos con características sobresalientes para su uso en la agricultura o de especies potencialmente domesticables para el cultivo o el estudio de plantas medicinales, entre muchas otras implicancias potenciales de los estudios

botánicos. Estos argumentos justifican plenamente la necesidad de mantener colecciones, herbarios, etc. Sin embargo, por sí sola, la colección y resguardo de especímenes no permite el aprovechamiento de sus potencialidades. Para aprovechar en toda su capacidad estas colecciones, es necesario integrar a las mismas conocimientos bioquímicos (v.g., que permitan aislar y caracterizar principios terapéuticos), moleculares (v.g., que evidencien las interacciones entre fitoquímicos y procesos diana de productos potencialmente medicinales), eco-fisiológicos (para detectar especies cuya domesticación pueda ser beneficiosa), etc. Los anteriores son solamente unos pocos ejemplos de los estudios necesarios para investir de valor social a los ejemplares resguardados en una colección. El resguardo de especímenes de plantas es una condición imprescindible y fundamental, pero no suficiente y que no asegura el logro de descubrimientos con valor social. Una vez más, es solamente a través de la integración de conocimientos que son patrimonio de distintas disciplinas biológicas que se podrán capitalizar los beneficios de mantener colecciones y preservar una muestra de la diversidad vegetal.

La vastedad de conocimientos actuales impide que un individuo pueda constituirse en un experto en Biología Vegetal, en toda la extensión de la disciplina; sin embargo, la integración de conocimientos es más necesaria que nunca. La participación de distintas disciplinas biológicas en la resolución de cuestiones específicas (tanto básicas como de interés económico-social) puede requerir el concurso de distintos especialistas, que necesitan un acervo biológico mínimo y un lenguaje común para entenderse mutuamente. Para que los biólogos del futuro puedan interactuar adecuadamente, es imprescindible que en la formación de grado adquieran una cultura biológica amplia que sirva de mínimo común denominador entre las especialidades, y que no soslaye ningún aspecto relevante del conocimiento biológico actual. Y aunque un biólogo pueda ocuparse solamente, por ejemplo, de la biología molecular de plantas, una adecuada formación biológica que cubra fenómenos y procesos de los distintos niveles de organización servirá como un antídoto frente a los sesgos que inevitablemente contaminan a cada especialidad. A lo largo de la historia, el estudio de las plantas ha contribuido decisivamente al avance de nuestra comprensión sobre los organismos vivos; basta solamente mencionar, a modo de ejemplos, el sistema de clasificación binomial creado por Linneo, las leyes fundamentales de la genética enunciadas por Mendel, la teoría celular y su relación con los estudios de Schleiden en plantas (Rostand, 1945), el descubrimiento de las mutaciones y los transposones, como aportes “botánicos” al conocimiento biológico. Para que los estudios sobre plantas sigan aportando al desarrollo más amplio del conocimiento es necesaria una mayor integración de los distintos estudios biológicos, y no su aislamiento mutuo.

Epílogo (o no tanto)

“El fin de la Botánica” celebra con justicia a varios notables botánicos latinoamericanos como ejemplos del camino a seguir, entre ellos a Sonia Machado de Campos Dietrich, a quien tuve el honor de tratar durante una estancia en el Instituto de Botánica de San Pablo (Brasil) en 1979. De hecho, la Dra. Machado de Campos Dietrich es un excelente ejemplo de aspectos que menciono o intento transmitir en este artículo. La Dra. Machado de Campos Dietrich se graduó en “Historia Natural” en la Universidad de San Pablo, se especializó en Bioquímica en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de la Fundación Campomar (Buenos Aires, hoy Instituto Leloir), y completó su doctorado (Ph.D.) en “Bioquímica Vegetal” en la Universidad de Saskatchewan, Canadá (Braga & Figueiredo Ribeiro, 2012). Esta amplia formación se refleja en su producción académica, con publicaciones que van desde el metabolismo durante la germinación de semillas de araucaria (Ferreira *et al.*, 1979) y las respuestas de especies de la selva lluviosa tropical al aumento de la concentración atmosférica de CO₂ (Aidar *et al.*, 2002) hasta la caracterización de metabolitos o compuestos de interés farmacológico en distintas especies nativas de Brasil (Monteiro Cardoso-Lopes *et al.*, 2008), sin limitar su trabajo a un único enfoque o al uso exclusivo de alguna metodología, pero haciendo hincapié en conocimientos relevantes para dar un destino útil a la vasta flora brasileña. La fecunda carrera de la Dra. Machado de Campos Dietrich podría

describirse como la de una persona dedicada a la biología vegetal. Y esto me lleva a la pregunta que inicia este trabajo, ¿qué hay en el nombre Botánica? Si este nombre alude “... a todo lo referente a las plantas...” (Font Quer, 1953), todo indicaría que la extinción de la Botánica como ciencia está muy lejos, incluso si la denominación Biología Vegetal remplazara al término más clásico. En cambio, si Botánica va a emplearse exclusivamente para designar un campo particular y restringido dentro de los estudios sobre las plantas, temo que su relevancia relativa disminuirá indefectiblemente ante el progreso de otras ramas del conocimiento biológico. En cualquier escenario, las plantas continuarán su vida diaria, regulando estrictamente la expresión de sus genes, optimizando el funcionamiento de las vías metabólicas involucradas en sus intercambios de materia y energía, respondiendo a los múltiples estreses abióticos y a los desafíos impuestos por otros organismos vivos, interactuando con otras plantas de la misma o de otras especies, preservando su aislamiento reproductivo (a veces no tan estrictamente) en interacciones que finalmente contribuirán a modelar la comunidad en que se encuentran. Una comprensión incluso elemental de las plantas requiere el concurso de varias disciplinas biológicas trabajando en forma cooperativa. Si, en cambio, soslayamos o restringimos el intercambio entre estas distintas disciplinas, correremos la misma suerte que los seis sabios ciegos dedicados a examinar un elefante en el poema de John Godfrey Saxe (1872) tomado de una conocida fábula hindú: quien examina un colmillo concluye que está delante de una lanza, quien toca la trompa interpreta encontrarse frente a una serpiente, y así sucesivamente.

Es de esperar que los estudios sobre las plantas no se encuentren condenados a repetir la experiencia de estos sabios, y que los recientes avances en los niveles celular y molecular puedan ser integrados adecuadamente al cuerpo de conocimientos más general que desde hace más tiempo se está construyendo sobre las plantas, bajo el nombre de Botánica o Biología Vegetal.

Agradecimientos

Agradezco a mis colegas del Instituto de Fisiología Vegetal (UNLP-CONICET) y al Prof. L.D. Noodén (Department Of Biology, University of Michigan, EEUU) cuyas ideas y críticas han sido siempre un inmejorable material para la reflexión.

Referencias

- Aidar, M.P.M., Martínez, C.A., Costa, A.C., Costa, P.M.F., Dietrich, S.M.C. & Buckeridge, M.S. (2002) “Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of Jatobá, *Hymenaea Courbaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae)”. *Biota Neotropica* 2, pp. 1-10.
- Bommert, P., Satoh-Nagasawa, N., Jackson, D. & Hirano, H.Y. (2005) “Genetics and evolution of inflorescence and flower development in grasses”. *Plant & Cell Physiology* 46, pp. 69-78.
- Braga, M. & Figueiredo Ribeiro, R. (2012) “Obituário de Sonia Machado de Campos Dietrich”. *Hoehnea* 39, pp. 169-170.
- Buchanan, B.B., Grissem, W. & Jones, R.L. (2015) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, Reino Unido, 1264 pp.
- Busch, F.A. & Farquhar, G.D. (2016) “Poor evidence for C₄ photosynthesis in the wheat grain”. *Plant Physiology* 172, p. 1357.
- Chanderbali, A., Berger, B.A., Howarth, D.G., Soltis, P.S. & Soltis, D.E. (2016) “Evolving ideas on the origin and evolution of flowers: new perspectives in the genomic era”. *Genetics* 202, pp. 1255-1265.
- Crisci, J.V., Apodaca, M.J. & Katinas, L. (2019) “El fin de la Botánica”. *Revista del Museo de La Plata* 4(1), pp. 41-50. DOI 10.24215/25456377e067.
- Coen, E.S. & Meyerowitz, E.M. (1991) “The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development”. *Nature* 353, pp. 31-37.
- Danila, F.R., Quick, W.P., White, R.G., Furbank, R.T. & von Caemmerer, S. (2016) “The metabolite pathway between bundle sheath and mesophyll: quantification of plasmodesmata in leaves of C₃ and C₄ monocots”. *Plant Cell* 28, pp. 1461-1471.

- Edwards, G.E. & Voznesenskaya, E.V. (2011) "C4 Photosynthesis: Kranz Forms and Single-Cell C4 in Terrestrial Plants", pp 29-61, en Raghavendra, A.S. & Sage, R.F. (eds), *Advances in Photosynthesis and Respiration* 32: C4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Edwards, G.E., Franceschi, V.R., & Voznesenskaya, E.V. (2004) "Single cell C4 photosynthesis versus the dual-cell (Kranz) paradigm". *Annual Review of Plant Biology* 55, pp. 173-196.
- Ferreira, A.G., Dietrich, S.M.C. & Handro, W. (1979) "Changes in the metabolism of *Araucaria angustifolia* during the early phases of germination and growth". *Revista brasileira de Botânica* 2, pp. 67-71.
- Font Quer, P. (1953) *Diccionario de Botánica*. Editorial Labor, Barcelona. 1244 pp.
- Hammer, G., Sinclair, T., Chapman, S.T. & van Oosteron, E. 2004. "On systems thinking, systems biology, and the in silico plant". *Plant Physiology* 134, pp. 909-911.
- Mazzocchi, F. (2012) "Complexity and the reductionism–holism debate in systems biology". *WIREs Syst Biol Med*. doi: 10.1002/wsbm.1181.
- Monteiro Cardoso-Lopes, E., Carreira, R.C., Gomes Agripino, D., Brandão Torres, L.M., Cordeiro, I., da Silva Bolzani, D., Machado de Campos Dietrich, S. & Marx Young, M.C. (2008) "Screening for antifungal, DNA-damaging and anticholinesterasic activities of Brazilian plants from the Atlantic Rainforest - Ilha do Cardoso State Park". *Revista brasileira de Farmacognosia* 18, pp. 655-660.
- Raghavendra, A.S. & Sage, R.F. (2011) "Introduction", pp. 17-25 en Raghavendra, A.S. & Sage, R.F. (eds.), *Advances in Photosynthesis and Respiration* 32: C4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Rangan, P., Furtado, A. & Henry, R.J. (2016) "New evidence for grain specific C4 photosynthesis in wheat". *Scientific Reports* 6, p. 31721. DOI: 10.1038/srep31721.
- Rostand, J. (1945) *Introducción a la Historia de la Biología*. Editorial Planeta-De Agostini S.A. 1985, Barcelona, 211 pp.
- Sage, R.F., Kocacinar, F. & Kubien, D.S. (2011) "C4 Photosynthesis and Temperature", pp 161-195, en Raghavendra, A.S. & Sage, R.F. (eds.) *Advances in Photosynthesis and Respiration* 32: C 4 Photosynthesis and Related CO2 Concentrating Mechanisms. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Saxe, J.G (1872) *Los ciegos y el elefante*. <https://es.scribd.com/doc/277181699/Los-Ciegos-y-El-Elefante>.
- Soltis, D.E., Chanderbali, A.S., Kim, S., Buzgo, M. & Soltis, P.S. (2007) "The ABC Model and its Applicability to Basal Angiosperms". *Annals of Botany* 100, pp. 155-163.
- Strasburger, E., Noll, F., Schenck, H. & Schimper, A.F.W. (1994) *Tratado de Botánica*. 8va. Edición Castellana, Ediciones Omega, Barcelona, 1068 pp.
- Teeri, J.A. & Stowe, L.G. (1976) "Climatic patterns and the distribution of C4 grasses in North America". *Oecologia* 23, pp. 1-12.
- Turck, F., Fornara, F. & Coupland, G. (2008) "Regulation and identity of florigen: Flowering Locus T moves center stage". *Annual Review of Plant Biology* 59, pp. 573-594.
- von Caemmerer, S., Edwards, G.E., Koteyeva, N. & Cousins, A.B. (2014) "Single cell C4 photosynthesis in aquatic and terrestrial plants: a gas exchange perspective". *Aquatic Botany* 118, pp. 71-80.
- Weigel, D. & Meyerowitz, E.M. (1994) "The ABCs of floral homeotic genes". *Cell* 78, pp. 203-209.