

# **El reino plantae: ¿Qué es una planta y cómo se clasifican?: Un cambio paradigmático**

## **The Kingdom Plantae: What Is a Plant and How Are They Classified?: A Paradigmatic Change**

*Marcelo D. Arana, Ana L. Correa y Antonia J. Oggero*

*Orientación Plantas Vasculares. Departamento de Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba.*

*marana@exa.unrc.edu.ar*

*Recibido 29/07/2013 – Aceptado 26/03/2014*

### **Resumen**

Hoy en día existe un cambio de paradigmas en la Botánica que es fundamental analizar y debatir. Los principales conceptos que están bajo una intensa discusión y cambios son la filogenia y clasificación biológica de los seres vivos con cloroplastos, la nueva visión del concepto de "planta" y "célula vegetal" y el reemplazo de la teoría celular por una visión orgánica de las plantas pluricelulares, lo que ha generado una visión holística de las mismas. Los objetivos del presente trabajo son presentar y debatir la actual circunscripción de los conceptos de "planta" y "célula vegetal" y presentar los recientes cambios en el campo de la filogenia y clasificación de las plantas.

**Palabras clave:** Teoría celular, teoría orgánica, célula vegetal, filogenia de plantas, reino Plantae.

### **Abstract**

Today there is a change of paradigm in Botany, which is necessary to analyze and discuss. The main items under intense discussion and changes are the phylogeny and classification of living organisms with chloroplasts, the new vision of the concept of "plant" and "plant cell" and the replacement of the cellular theory by an organismal concept of plant multicellularity, which have led to a holistic view of plants. The aims of this paper are to present and discuss the current circumscription of the concepts of "plant" and "plant cell" and to present the recent changes in phylogeny and classification of plants

**Keywords:** Cell Theory, Organismal Theory, Plant Cell, Plant Phylogeny, Kingdom Plantae.

### **Introducción**

El presente trabajo surge por los cambios que han sucedido en los conceptos relacionados con dos ejes fundamentales en el campo disciplinar de la ciencia de las plantas. El cuestionamiento, desde la botánica, a la teoría celular, con un cambio de visión teniendo en cuenta las plantas; y el sistema de clasificación vigente de las mismas, que se

encuentra en constante actualización y que en los libros de texto en general, y en especial los utilizados en el nivel medio, aparecen desactualizados. El propósito es brindar esta información, presentando brevemente los cambios conceptuales fundamentales propuestos desde la perspectiva de la botánica a la teoría celular y a la subsecuente redefinición del concepto "planta" por un lado; y por otra parte reflejar esos cambios en la actual clasificación de estos organismos. Atendiendo a lo expresado, los objetivos de este trabajo son explicar la reconstrucción de los conceptos "célula vegetal" y "planta" actuales, así como brindar las características del reino Plantae y principales grupos subordinados, de acuerdo a la redefinición de los conceptos previamente mencionados y a las relaciones evolutivas de sus integrantes, en el marco de la clasificación filogenética general actual de seis reinos y dos dominios.

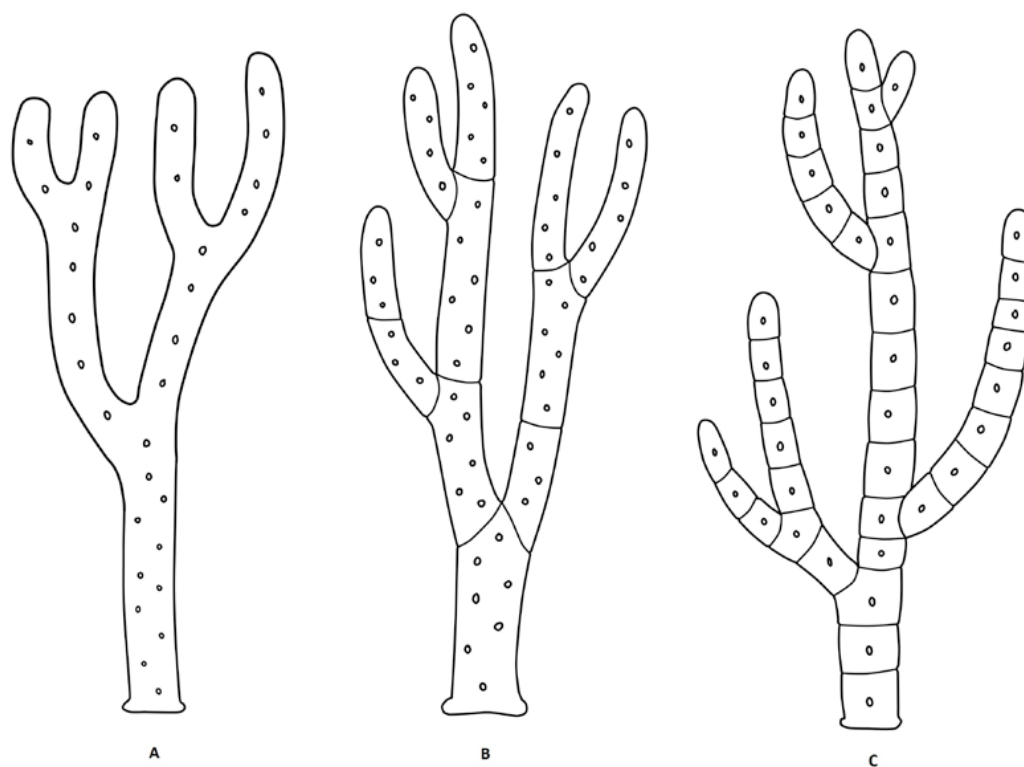
### **Conceptos de "Célula Vegetal" y "Planta"**

En la actualidad hay dos grandes ejes de debate, muy relacionados entre ellos, acerca de las plantas: uno es el concepto de célula como unidad estructural de la pluricelularidad en estos organismos y otro la definición de lo que es una planta y cómo es su clasificación actual. Durante el siglo XX y lo que va del presente se han hecho una serie de avances en el conocimiento de la biología vegetal, particularmente en el campo de la morfofisiología y desarrollo que han hecho evidentes una reinterpretación de algunos conceptos. La pregunta básica que podríamos hacernos es ¿Qué es una planta?

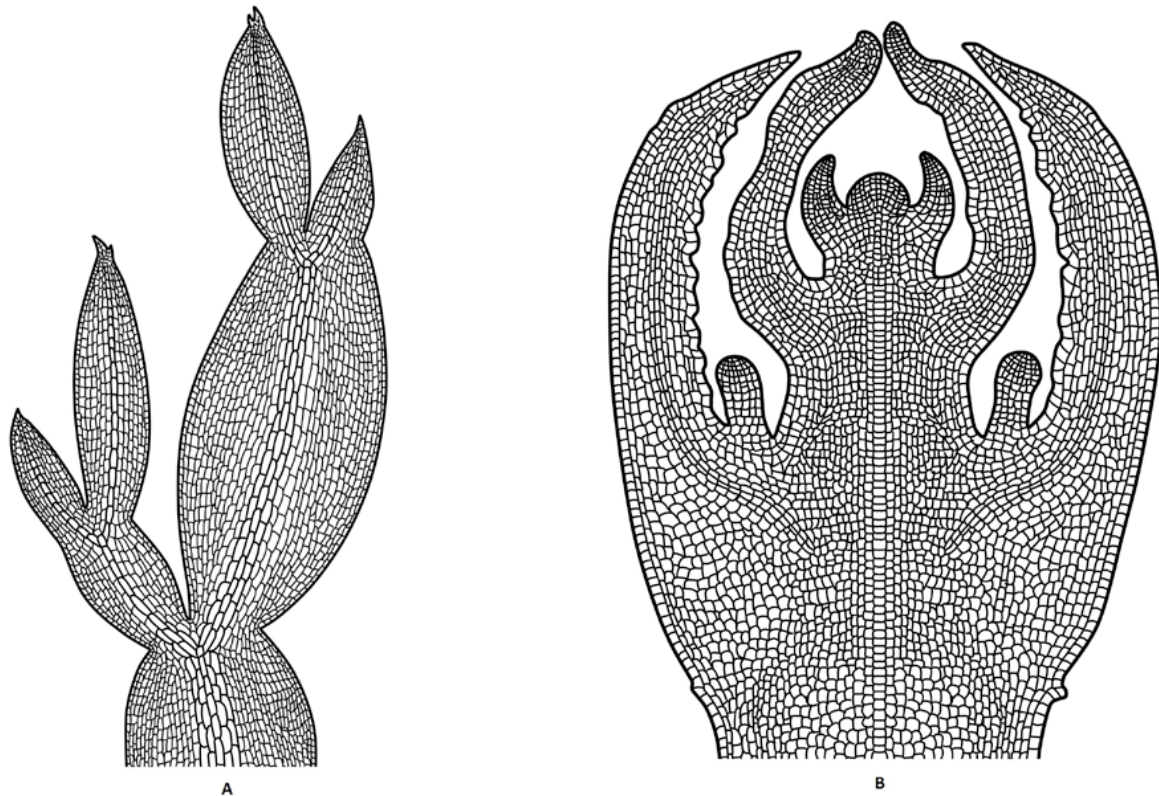
En su circunscripción más usual, las plantas se definen generalmente como organismos multicelulares, con células de tipo eucariota y con pared celular (célula vegetal), organizadas de forma que las células posean al menos cierto grado de especialización de trabajo. Las plantas, así definidas, son organismos "pluricelulares" que obtienen la energía de la luz del Sol que captan a través de la clorofila presente en los cloroplastos de las células más o menos especializadas para ello y con esa energía, mediante el proceso de fotosíntesis, elaboran glucosa que es la materia prima para realizar todas sus actividades. Por lo tanto, las plantas son organismos autótrofos. Esta es la concepción tradicional que ha persistido hasta hace poco tiempo y acorde a la Teoría Celular clásica.

La Teoría Celular, elaborada a partir de los postulados de varios científicos, entre los que podemos destacar a Robert Hooke, Anton Van Leeuwenhoek, Theodor Schwann, Jakob Schleiden y Rudolf Virchow, establece esencialmente que todos los seres vivos están formados por células y que las mismas son la unidad mínima fisiológica de la vida. Esta doctrina está firmemente establecida en todas las disciplinas biológicas y actúa como un paradigma general de la construcción tisular del organismo y las funciones del mismo (Wolpert, 1995; Mazzarello, 1999; Nurse, 2000). Este concepto es tomado fundamentalmente como cierto para todos los seres vivos y es utilizado para establecer visiones reduccionistas con bases moleculares del desarrollo celular (Pollard, 2003), relegando a un organismo pluricelular como una estructura análoga a una "república" de entidades autónomas (células) asociadas, que actúan coordinadamente. Sin embargo, los más recientes avances en la Biología Vegetal, desde diferentes aspectos, han precipitado una crisis acerca de la aplicación de la teoría celular en plantas (Kaplan, 1992; Wojtaszek,

2001; Baluska et al., 2004), ya que es incompatible con la organización anatómica de las plantas (Rustom et al., 2004). Este cambio de interpretación de la estructura anatómica, de desarrollo y fisiológica del cuerpo de las plantas se conoce como Teoría Organísmica (Kaplan, 1992; Sitte, 1992; Barlow, 1994; Korn, 1999; Niklas, 2000; Wojtaszek, 2001; Tsukaya, 2002) y plantea fundamentalmente que no es la célula la unidad primaria de la vida en plantas, sino que la unidad es todo el organismo, el cual en realidad se desempeña como una "gran célula". Esta estructura corporal puede estar compartimentalizada en una red de subunidades citoplasmáticas separadas por tabiques, siempre incompletos debido a la presencia de poros (que en las embriofitas se denominan plasmodesmos) que permiten el intercambio entre las distintas subunidades citoplasmáticas. A este tipo de organismos se los denomina simplásticos y los más conocidos son las plantas vasculares. O directamente pueden ser sólo una gran masa citoplasmática sin tabiques o con los mismos incompletos e incipientes con numerosos núcleos en cada compartimento; a este tipo de organismos se los denomina cenocíticos, y como ejemplos podemos mencionar a las algas verdes de los géneros *Codium*, *Caulerpa* y *Cladophora*).

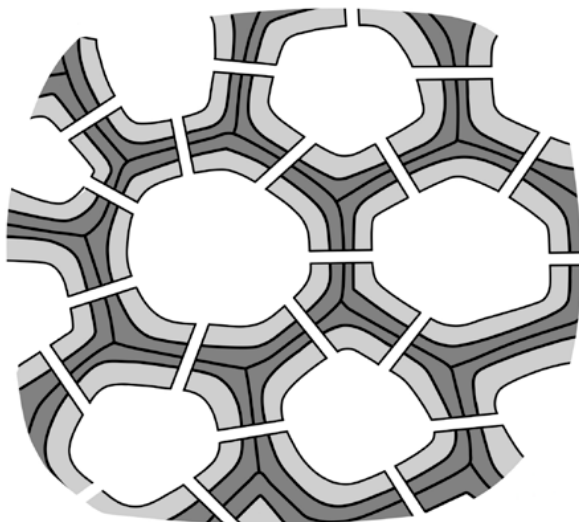


**Figura 1.** Estados transicionales de tabicación interna progresiva del cuerpo de las plantas, A: cenocito en *Codium* (Codiaceae-Chlorophyta); B: compartimentos multinucleados en *Cladophora* (Cladophoraceae-Chlorophyta); C: compartimentos uninucleados en *Spongomorpha* (Ulotrachaceae-Chlorophyta).



**Figura 2.** Modelos de mayor complejización en la tabicación interna del simplasto, A: alga roja laminar *Caloglossa leprieurii* (Delesseriaceae- Rhodophyta); B: planta vascular *Phlegmariurus phyllicifolius* (Lycopodiaceae-Charophyta).

La teoría orgánsmica establece que la pluricelularidad no aparece por agregación celular, sino por la fragmentación y tabicación incompleta (proceso que denominamos compartimentalización), secundaria del organismo en unidades llamadas "células" (o más apropiadamente, compartimentos). Aquí las células son subdivisiones del organismo, ya que no están aisladas unas de otras sino que en realidad son partes del **SIMPLASTO**, el cual constituye un citoplasma continuo, rodeado de una membrana plasmática única, de la cual la pared es una parte fundamental, integrada y metabólicamente activa (Wojtaszek, 2001) (Figura 3).



**Figura 3.** Modelo de tabicación interna incompleta de la red de citoplasmas que forman un continuum citoplasmático: el simplasto.

La continuidad de la red simplástica le permite a la planta un intercambio potencial de información sin restricciones a través de todo su cuerpo, y la rápida difusión de las señales electroquímicas para coordinar la transcripción del genoma y poder percibir la información del ambiente. De este modo, puede responder adaptándose, neutralizando o tomando ventaja de los cambios que puedan ocurrir (Baluska et al, 2004), sin necesidad de órganos especiales para ello, a diferencia de los animales, tal vez los únicos organismos verdaderamente pluricelulares en el sentido estricto de la palabra.

En síntesis, estos nuevos enfoques de pensamiento sustentan las siguientes ideas:

- El estudio del organismo como unidad es más significativo y más explicativo que el enfoque en las células individuales.

- A pesar de los indiscutibles éxitos de la visión reduccionista en los descubrimientos sobre las células individuales y sus partes constitutivas, se observa que los organismos, particularmente las plantas, poseen propiedades que van más allá que la mera sumatoria de las partes (“células”) y es el organismo la unidad fundamental.

- La pluricelularidad en plantas ocurre en forma diferente a los animales. Mientras que en estos últimos las células poseen una separación completa de sus protoplastos durante la mitosis, en plantas ocurre por tabicación interna, pero incompleta, por inserción de la pared. Debido a este tipo de partición interna, los patrones de división celular no tienen influencia en la generación de la forma de los órganos vegetales, ya que se ha demostrado que estructuras formadas a partir de diferentes linajes celulares, varias veces convergen en forma (Kaplan, 1992). Un ejemplo lo constituyen los filodios, tallos o pecíolos ensanchados que poseen la apariencia de hojas.

- La naturaleza supracelular de las plantas es incompatible con la versión clásica de la teoría celular. Aquí las células no son concebidas como unidades funcionales del organismo, sino como subdivisiones del mismo, con diferentes funciones de acuerdo a la posición que ocupen dentro del organismo, el cual se transforma así en la unidad fundamental en estudio.

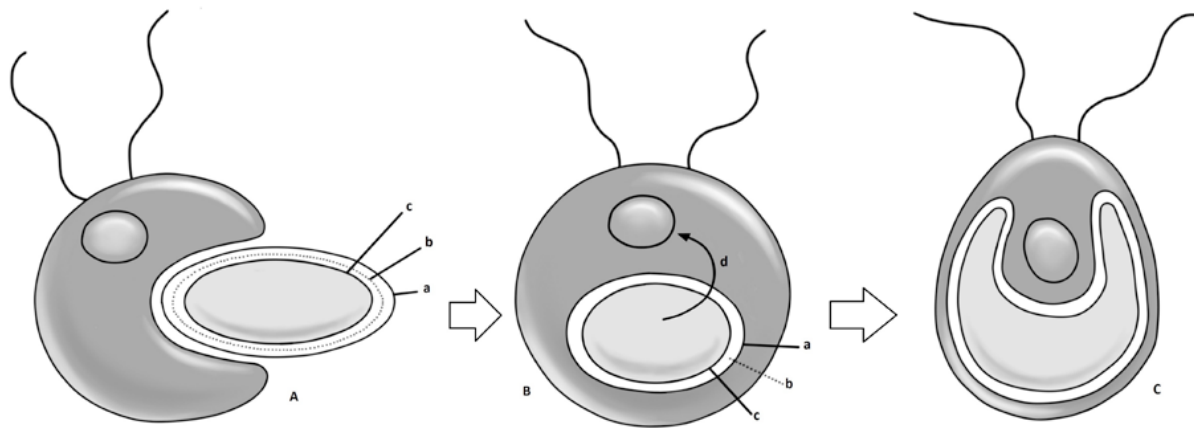
- La utilización de los beneficios mecánicos de los tabiques internos en su cuerpo les permitió a las plantas ser exitosas colonizadoras de la tierra (o más apropiadamente, el aire).

Observar al organismo como algo mucho más importante que la suma de las características de las subunidades celulares que comprende es un importante cambio a la mirada reduccionista que ha dominado la moderna investigación biológica (la llamada “Biología genocéntrica”), y se retorna a una mirada holística y más integrada de las funciones y desarrollo del ser vivo. Esto es fundamental para el entendimiento del proceso evolutivo y para lograr su comprensión y aceptación a nivel global (Terradas & Peñuelas, 2009). El nuevo enfoque holístico de la plantas lleva a repensar aspectos de la filogenia vegetal, cambiar concepciones arraigadas y aparentemente inmutables, y modificar los modos de interpretar a los organismos vegetales, obteniendo una visión cada vez más aproximada de la realidad.

## Clasificación de los organismos, en especial las plantas

De acuerdo a la teoría endosimbiótica, la célula eucariota es una quimera que surge de la asociación e incorporación de organismos procariotas que después de ser fagocitados por otro microorganismo, habrían establecido una relación endosimbiótica con éste (Margulis, 1993, 2001; Margulis & Sagan 1995, 2002). De esta manera, se ha demostrado que las mitocondrias provienen de organismos del grupo de proteobacterias alfa (más precisamente del orden Rickettsiales, que agrupa a bacterias conocidas como rickettsias) y los diferentes plastos de organismos del grupo de las cianobacterias (Archibald, 2008; Cavalier-Smith, 2010a; Keeling, 2004, 2010; Price, et al 2012; Richards & Archibald, 2011).

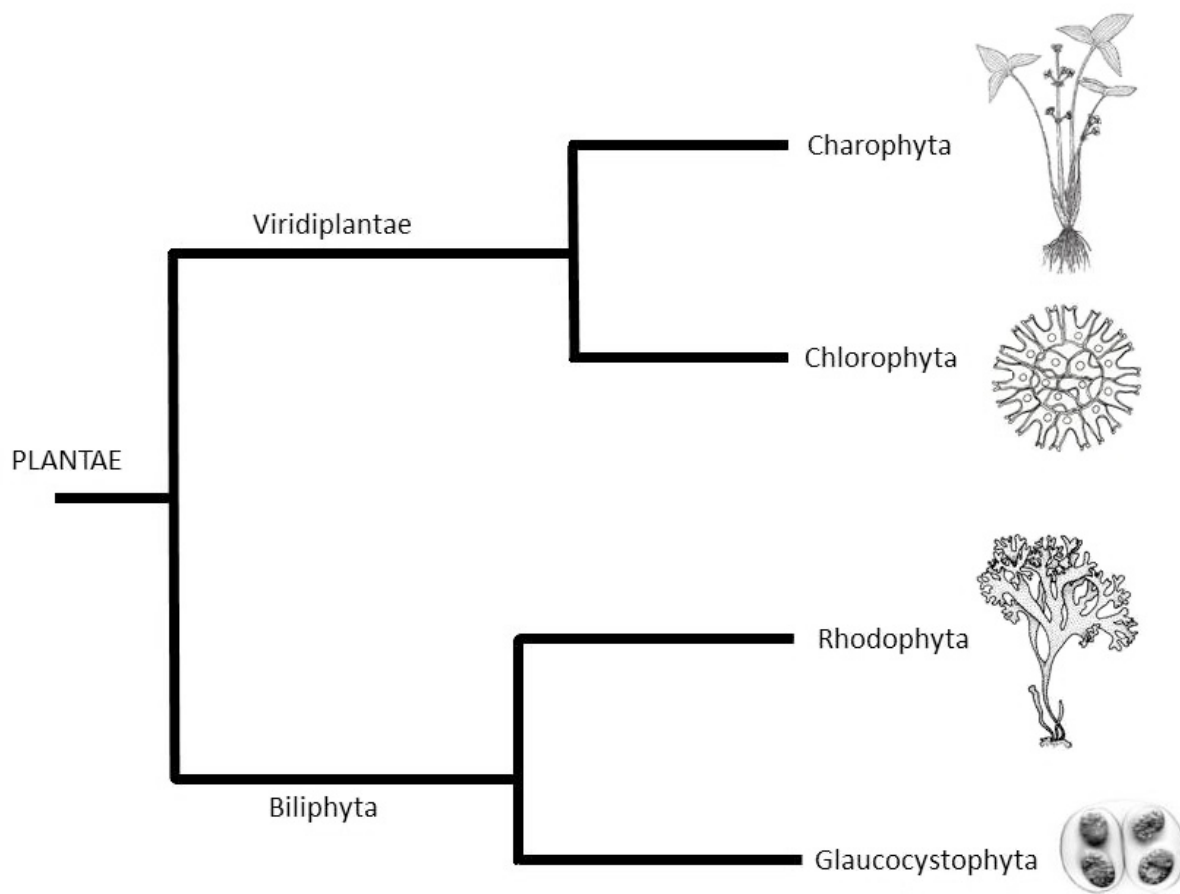
De acuerdo a Cavalier-Smith (1998, 2004, 2006, 2010 a, b), el factor más importante en la evolución de las plantas es el origen de la primera célula vegetal, lo cual se dio por endosimbiosis entre un protozoo heterótrofo fagótrofo biflagelado y una cianobacteria con posterior transferencia de genes (Archibald, 2008; Keeling, 2004, 2010; Margulis, 1993, 2001; Richards & Archibald, 2011; Price, et al. 2012).



**Figura 4.** Etapas en la endosimbiosis primaria, A: fagocitosis de una cianobacteria sin digestión; B: asimilación del organela con transferencia de genes y pérdida de la capa de péptidoglucano (salvo en glaucófitas); C: modelo planta unicelular *Chlamydomonas* (Chlamydomonaceae-Chlorophyta). Referencias. a: membrana externa del endosimbionte, b: capa de péptidoglucano, c: membrana interna del endosimbionte, d: transferencia de genes del procloroplasto al núcleo.

Este proceso se denomina Endosimbiosis Primaria (Figura 4), en la cual el cloroplasto está rodeado por dos membranas, derivadas de la cianobacteria simbiote, y ocurrió hace unos mil quinientos millones de años atrás (Pires & Dolan, 2012). La diversificación del linaje de las plantas a partir de este primer evento de endosimbiosis marcó un rol fundamental en la historia de la vida, ya que constituyó el origen de la fotosíntesis oxigénica en los eucariotas y condujo a cambios dramáticos en los ambientes terrestres, iniciando la transformación de los ecosistemas aeroterrestres (Kenrick & Crane, 1997; Leliaert et al., 2012) Este primer organismo eucariota fotosintético representa al ancestro del reino

Plantae y a veces ha sido llamado Primoplantae o Archaeplastida (Adl et al., 2012) para reflejar precisamente esa ancestralidad, y cuyo linaje monofilético involucra a todas las plantas verdes, algas rojas y glaucofitas. Reconstruir las relaciones filogenéticas dentro de las plantas es fundamental para identificar los caracteres que representan innovaciones que subyacen dentro de la diversidad de las algas verdes y las plantas terrestres. Los análisis filogenéticos moleculares han complementado, modificado y reestructurado nuestros puntos de vista en las relaciones que existen dentro del antiguo linaje de los organismos eucariotas fotosintéticos originados por endosimbiosis primaria (Leliaert et al., 2012). Estos organismos se diversificaron rápidamente en dos linajes: por un lado las glaucofitas y algas rojas y por otro, las plantas verdes (Figura 5).



**Figura 5.** Filogenia y clasificación del reino Plantae, con los dos subreinos y las cuatro divisiones que lo componen.

Este último clado volvió a dividirse tempranamente en dos linajes, que siguieron trayectorias evolutivas radicalmente diferentes (Lewis & Mc Court, 2004, Lemieux et al., 2007; Rodríguez-Ezpeleta et al., 2007; Leliaert et al., 2012). El clado de las clorofitas *sensu stricto* se diversificó en el plancton y dio origen a las algas “prasinofitas” y las “euclorofitas”, que radiaron en las costas marinas y ambientes de agua dulce. El segundo clado, las carofitas, que comprende algunas algas verdes y las plantas terrestres, se desarrolló principalmente en agua dulce y ambientes pantanosos e hiperhúmedos, desde

donde colonizaron la tierra hace aproximadamente 476- 432 millones de años, dando origen a las ricamente diversificadas plantas terrestres (Kenrick & Crane, 1997; Leliaert et al., 2012).

Muchos organismos con cloroplastos (por ejemplo las llamadas "algas pardas", "diatomeas", "euglenas") no pertenecen al linaje del reino Plantae, porque no son descendientes directos de aquellos que adquirieron el primer cloroplasto por endosimbiosis primaria, sino que adquirieron sus cloroplastos por endosimbiosis secundaria, al incorporar un alga verde o un alga roja a su célula (por lo que los cloroplastos están rodeados por tres o cuatro membranas). Y, por lo tanto, filogenéticamente no poseen relación con las plantas y son ubicados en otros reinos, a pesar de ser "eucariotas multicelulares con cloroplastos" (Keeling, 2004, 2010; Arana & Bianco, 2011).

El reconocimiento de que la diversidad es producto del proceso evolutivo, a partir de Charles Darwin, provocó un cambio en las clasificaciones, ya que la pertenencia a un taxón y las relaciones jerárquicas entre los mismos está estrictamente basada en el parentesco filogenético. Si tenemos en cuenta las plantas, una de las primeras clasificaciones (y una de las más conocidas) en las que se trata de reflejar las relaciones evolutivas es la de Adolf Engler (1892), la cual agrupa a todos los organismos conocidos como "plantas" en cuatro divisiones. Posteriormente, el entomólogo alemán Willi Hennig (1950), propuso su teoría de la sistemática filogenética (cladismo), que introducía explícitamente el concepto de evolución en sistemática, con la idea central de la monofilia estricta de los grupos, identificados por características compartidas exclusivas (sinapomorfías).

La cladística utiliza el análisis filogenético y el principio de parsimonia (simplicidad) para elaborar esquemas filogenéticos. Esto ha provocado una revolución en las clasificaciones, que se convierten en explicación de la diversidad y en la más rica fuente de información para todas las disciplinas de la Biología, constituyendo la Sistemática un marco de referencia y la síntesis del conocimiento de los seres vivos, ya que aporta el componente histórico filogenético al entendimiento de los patrones de surgimiento y cambio en la biodiversidad, y ubica las especies (que son la herramienta científica más utilizada para medir la biodiversidad) en un marco clasificatorio (Crisci, 2006; Contreras-Ramos & Goyenechea, 2007; Arana & Bianco, 2011; Wiley & Lieberman, 2011).

La historia filogenética de los seres vivos es única y nuestro mayor logro es aproximarnos cada vez más a dilucidar cuáles son (y han sido) las relaciones entre los organismos. La clasificación debe reflejar las relaciones evolutivas, por lo cual la Taxonomía Vegetal está pasando por una de sus mayores revoluciones (Judd et al., 2008). Como mencionamos previamente, para que sean realmente informativos, los grupos en una clasificación deben ser monofiléticos, es decir englobar el ancestro y todos sus descendientes, lo que se refleja en características compartidas por los integrantes del linaje. No se aceptan grupos formados por la ausencia de características (porque se los considera artificiales), ya que llevan a interpretaciones evolutivas erróneas, como por ejemplo "invertebrados: sin columna vertebral"; "criptógamas: plantas con reproducción oculta", entre otros.

En el esquema clasificatorio tradicional, las "algas verdes" no son consideradas



plantas, es decir, no pertenecen al reino Plantae, ya que no poseen multicelularidad con un mínimo de división del trabajo. Gracias a los conocimientos que se han construido en la Sistemática, a partir de los distintos linajes filogenéticos, se sabe que la circunscripción propuesta por Whittaker es esencialmente parafilética, ya que le falta incluir en el Reino Plantae a otros organismos cercanamente emparentados entre sí; y además también es polifilética, ya que en el denominado reino "Protista" se incluyen organismos que poseen diferentes ancestros. Las clasificaciones han sufrido (y sufrirán) modificaciones a lo largo de la historia, ya que esencialmente reflejan y sintetizan los cambios en el conocimiento, particularmente gracias al desarrollo tecnológico, lo que ha permitido una reconstrucción permanente de las mismas.

Los seres vivos fueron divididos originalmente por Carl von Linné (1758) en dos grupos: Vegetabilia (plantas, hongos y algas) y Animalia (animales). Sin embargo, ciertos organismos comparten características de ambos reinos. Esto, que se hizo particularmente evidente con el uso del microscopio y el estudio de las células, motivó que fueran añadiéndose nuevos grupos de forma gradual.

En el esquema clasificatorio tradicional, a partir de la clasificación de tres dominios y cinco o seis reinos (Whittaker, 1969; Woese & Fox, 1977; Woese et al., 1990), los grupos estaban separados fundamentalmente por el tipo celular, la división de trabajo en los tejidos y el rol que cumplen en el ecosistema. Esto es esencialmente funcional sin tener en cuenta la filogenia (historia evolutiva) de los grupos, lo que hace a esta clasificación artificial, incluyendo grupos parafiléticos y polifiléticos.

Actualmente, la complejidad en los estudios ultraestructurales, moleculares, genéticos (gracias al avance tecnológico) y la reinterpretación de los estudios anatómicos y fisiológicos han resuelto en su mayor parte el arbusto filogenético de la vida (Cavalier-Smith, 1998, 2004, 2006, 2010 a, b; Arana & Bianco, 2011), clasificando a los organismos en seis reinos agrupados a su vez en dos dominios (llamados también superreinos, aunque esta última categoría no está aceptada por los códigos de nomenclatura): Prokaryota, que incluye un solo reino (Bacteria), y Eukaryota, que reúne a cinco reinos.

**Dominio EUKARYOTA** Chatton, *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, Série* 10 8: 5-84, 1925. (del griego εὖ *eu*: "verdadero" y κάρυον *karyon*: "núcleo").

Organismos que presentan núcleo (ADN + membrana), sistema de endomembranas citoplasmático y citoesqueleto. En general con mitocondrias derivadas de una bacteria  $\alpha$ -proteobacteria simbiote. Incluye cinco reinos, *Protozoa*, *Fungi*, *Animalia*, *Chromista* y *Plantae*.

**Reino PLANTAE** Haeckel: *Generale Morphologie der Organismen* 1: 220, 1866 (sinónimos: Primoplantae Palmer et al. 2004, *nom.nud.* (no válido), Archaeplastidia Adl et al., *J. Eukaryot. Microbiol.* 52 (5): 420. 2005.

(del latín **plantae**: plantas).

Las plantas son organismos unicelulares o simplásticos, en donde el citoplasma posee una cubierta externa de celulosa que constituye una parte fundamental, integrada y metabólicamente activa (Wojtaszek, 2001). Esta cubierta de celulosa puede tabicar internamente al citoplasma, pero estos tabiques siempre son incompletos dejando durante su formación interrupciones o poros, que en algunos grupos se denominan plasmodesmos. Ellos permiten la comunicación y transferencia de organelas y contenido citoplasmático entre los diferentes compartimentos o «células», que en consecuencia no son independientes entre sí, sino que conforman un *continuum* integrado morfológica y metabólicamente (simplasto), en donde la unidad es todo el organismo, que se desempeña como una gran célula que puede estar compartimentalizada en una red de citoplasmas separados por tabiques incompletos interconectados por poros, o ser sólo un gran citoplasma sin tabiques y con numerosos núcleos (Kaplan, 1992; Sitte, 1992; Lucas et al., 1993; Barlow, 1994; Korn, 1999; Niklas, 2000; Wojtaszek, 2001; Tsukaya, 2002, Baluska et al., 2004; Beck, 2010; Arana & Bianco, 2011). Los organismos de este reino son autótrofos, con la producción de glucosa por medio del proceso de la fotosíntesis, que se lleva a cabo en los cloroplastos. Ellos están situados siempre en el citosol, poseen como pigmento fotosintético principal la clorofila *a*, y son originados por endosimbiosis primaria. Es decir que los cloroplastos están rodeados por dos membranas, derivadas de las membranas externa e interna de la cianobacteria Gram negativa endosimbionte, con una posterior transferencia de varios de sus genes al núcleo del hospedador, pero cuyas proteínas cumplen su función en el plástido (Olson & Blankenship, 2005; Keeling, 2010). También poseen metabolismo aerobio por la presencia de mitocondrias con crestas planas, por lo tanto, las plantas poseen tres juegos de ADN: uno en el núcleo, otro en los cloroplastos y otro en las mitocondrias. La reproducción puede ser asexual, por fragmentos del cuerpo, o sexual por la producción de gametos haploides.

Son organismos que habitan en ambientes terrestres, dulceacuícolas y marinos, siempre dentro de la zona fótica (con luz) e incluye a las llamadas «algas rojas» (rodofitas), las glaucofitas, las «algas verdes» (clorofitas), los musgos, hepáticas, licofitas, helechos y plantas con semillas (Lewis & Mc Court, 2004; Chase & Reveal, 2009; Arana & Bianco, 2011, Pirani & Prado, 2012).

Este reino comprende dos subreinos (Figura 5):

**Subreino Biliphyta** Cavalier-Smith, *BioSystems* 14: 479. 1981.

Incluye organismos cuyos plástidos poseen tilacoides simples, con clorofila *a* como pigmento fotosintético, ficobilinas y ficobilisomas. El almidón se almacena en forma libre en el citoplasma.

Incluye dos divisiones:

**División Glaucocystophyta** Kies & Kremer, *Taxon* 35: 128. 1986. (“glaucofitas”).

Organismos que se caracterizan por retener entre las dos membranas que rodean al cloroplasto una capa de péptidoglucanos, remanente de la pared celular bacteriana endosimbionte; estos cloroplastos se denominan cianelas o muroplastos (Wise, 2006). Poseen solo clorofila *a*, con pigmentos accesorios como ficocianina y aloficocianina. Debajo de la membrana plasmática se encuentran alvéolos relacionados a microtúbulos. Incluye unas 15 especies de algas microscópicas de ambientes de agua dulce.

**División Rodophyta** Wettstein, R. *Handb. Syst. Bot.* 1: 46, 182. 1901 (“algas rojas”).

Organismos sin estadíos flagelares ni tampoco centriolos o cuerpos flagelares basales; cloroplastos con tilacoides simples con ficobilisomas y con clorofila *a* y ficobilinas, de las cuales la ficoeritrina le da el color rojo, denominados rodoplastos (Wise, 2006). La sustancia de reserva es un tipo de almidón especial denominado florídeo, que se almacena en el citoplasma. Incluye unas 6.000 especies de hábitat principalmente marino.

**Subreino Viridiplantae** Cavalier-Smith, *BioSystems* 14: 479. 1981.

Incluye organismos cuyos cloroplastos poseen los tilacoides agrupados (grana), clorofila *a* y *b* como pigmentos fotosintéticos y carotenos y xanfitilas como pigmentos accesorios. El almidón es el principal polisacárido de reserva y está situado en el estroma de los plástidos (amiloplastos y cloroplastos). Las células flageladas son isocontas, es decir que los dos flagelos son similares en estructura, aunque pueden diferir en longitud.

Este subreino comprende dos divisiones:

**División Chlorophyta** Pascher, *Berichte der deutsche botanischen Gesellschaft* 32: 136–160. 1914 (*sensu stricto*). (“euclorofitas”).

Incluye organismos con cuerpo unicelular o simplástico, las células móviles poseen flagelos siempre pares en posición anterior y un aparato flagelar típicamente caracterizado por un sistema de raíz simétrico. Durante la división celular la mitosis es cerrada. Presenta sistemas de enzimas como la glicolato deshidrogenasa. Incluye algo más de 5400 especies de “algas verdes” reunidas en ocho clases y con una gran diversidad morfológica, que habitan tanto ambientes dulceacuícolas y marinos, como terrestres.

**División Charophyta** Migula, W., *Rabenh. Krypt.-Fl.*, ed. 2, 5: 94. 1899. (“carofitas”).

Organismos con cuerpo unicelular o compartimentalizado, que se caracterizan porque sus células móviles son biflageladas, con los flagelos insertos asimétricamente; éstos poseen dos raíces flagelares distintas, una base multicapa de microtúbulos y una raíz menor. Además, durante el final de la anafase mitótica generalmente se forma una estructura llamada *fragmoplasto*, constituida por microtúbulos y microfilamentos que se sitúan a nivel del plano ecuatorial, coexistiendo con el huso mitótico. La función del fragmoplasto es dirigir las vesículas procedentes del dictiosoma, cargadas con precursores del nuevo tabique en formación. Comprende siete clases, seis de “algas verdes” y una (Embryopsida) que incluye a las hepáticas, los musgos, y las plantas vasculares: licofitas, helechos, y las plantas con semilla.

## Consideraciones finales

En los últimos años, la taxonomía y la sistemática han tenido una pérdida de credibilidad entre los científicos e inclusive han sufrido una desaparición gradual de los planes curriculares vigentes. Este problema está basado en conceptos erróneos sobre cómo trabaja la sistemática, por ejemplo la visión de que la misma es puramente una rama descriptiva memorística del conocimiento, es un claro ejemplo de la equivocada mirada que se tiene de estos conceptos (Léon & Navarro Carbajal, 2005; Crisci, 2006). De hecho, la sistemática es una disciplina científica que requiere de la descripción, pero también de rigor teórico, empírico y epistemológico, de un enfoque basado en las hipótesis, y de experiencia de campo y de laboratorio. La sistemática biológica es una disciplina científica multidimensional que describe, nombra, clasifica y determina las relaciones entre los miembros de la biota de la Tierra (Crisci & Katinas, 2011). Desarrolla estas actividades intervencionales mediante estudios, inventarios, colecciones, descripciones de especies, reconstrucciones filogenéticas, clasificaciones jerárquicas, monografías y la aplicación de las reglas de nomenclatura en la designación de los grupos (o taxones) y los organiza en un sistema (de allí el origen del nombre sistemática). Para ello, se debe comprender que el sistema de clasificación es una construcción humana que muta. Los organismos no llegan al mundo como miembros de un género o de una especie. Somos los humanos quienes los situamos y organizamos en categorías jerárquicas sobre la base del conocimiento actual y de las perspectivas evolutivas. A medida que nuestro conocimiento en genética, evolución, filogenia, anatomía, desarrollo reproductivo, biogeografía y otras disciplinas aumenta, se reorganiza el sistema de clasificación, como se ha hecho evidente en el debate sobre los reinos en las últimas dos décadas. Esto es importante, ya que demuestra la dinámica de la naturaleza de la ciencia y el papel de las múltiples hipótesis que compiten entre sí en el progreso científico. La enseñanza debería ser consistente con la naturaleza de la indagación científica, esto significa reemplazar la memorización rutinaria como un objetivo tradicional de enseñanza y enfatizar la indagación reflexiva y la toma de decisiones (Crisci & Katinas, 2011). Esta, incluso, debería ser una de las lecciones más importantes para la educación en sistemática. Con ese fin, las aulas se convierten en lugares donde los estudiantes regularmente exploran problemas biológicos, ya que la sistemática es una de las principales herramientas que tiene la ciencia para trazar un mapa de la biodiversidad. Una condición para producir una clasificación con poder explicativo es la existencia de un sistema generativo responsable de los atributos observados. El sistema generativo de la biodiversidad es la evolución biológica, de esta forma logramos descubrir los eventos fundamentales en la historia de la vida (= filogenia) e investigar los procesos para rescatar esa historia; la evolución explica y la sistemática refleja la unidad y la diversidad de la biota. Todo esto tiende a que la educación en biodiversidad debería fomentar un sentido de custodia de la biodiversidad de nuestro planeta, a partir de la comprensión de que somos una pequeña parte de la misma y que con la pérdida de la biodiversidad perdemos posibilidades de futuro, reducimos nuestro destino como especie, empobrecemos nuestro potencial de bienestar y tendremos graves problemas para sobrevivir como especie.

Como expresáramos anteriormente, el propósito del trabajo consiste en introducir las reformulaciones y cambios paradigmáticos propuestos desde la Botánica, lo que

constituye un claro ejemplo de la dinámica del conocimiento científico. Hay construcciones conceptuales que se aceptan válidas y así permanecen, fortaleciéndose con el estudio de casos que las avalan, hasta que aparecen evidencias que permiten su reinterpretación. De esto trata precisamente este artículo, de seguir estudiando, de poder aplicar nuevas tecnologías, de replantearse las ideas troncales, de modo tal de fortalecerlas, o bien de modificarlas. La revolución que se está vivenciando en el campo de la Sistemática, no sólo en lo referido a las plantas, muestra a la biología como una disciplina dinámica, y este dinamismo, de alguna forma, se diluye hasta que llega a los docentes y estudiantes. Es por ello que consideramos que, realizando este trabajo, despertamos la curiosidad, el planteamiento de dudas, confrontación de ideas, y generamos una manera más sencilla y directa de contribuir al brindar herramientas que permitan demostrar que el conocimiento está en constante avance y ejemplificar los aspectos teóricos que se trabajan referidos al método científico, las teorías, o en definitiva, la generación del conocimiento.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Heraldo Mussolini por la confección de las figuras que ilustran este artículo, así como a los revisores y editores, cuyos comentarios contribuyeron a enriquecer el manuscrito.

## Bibliografía

- Adl, S. M.; Simpson, A. G. B.; Lane, C. E.; Lukes, J.; Bass, D.; Bowser, S.S.; Brown, M.W.; Burki, F.; Dunthorn, M.; Hampl, V.; Heiss, A.; Hoppenrath, M.; Lara, E.; Le Gall, L.; Lynn, D.H.; Mcmanus, H.; Mitchell, E. A.D.; Mozley-Stanridge, S.E.; Parfrey, L. W.; Pawlowski, J.; Rueckert, S.; Shadwick, L.; Schoch, C.L.; Smirnov, A. & F. W. Spiegel. 2012. The Revised Classification of Eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59(5): 429–493.
- Arana, M. D. & C. A. Bianco. 2011. Clasificación y Nomenclatura de los seres vivos, capítulo 1 pp: 5-20. En C. A. Bianco; S. Basconsuelo & R. Malpassi (Comp.): *El misterio de la vida: Biología para ingresantes a la Universidad* E-book. UniRío Editora: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Archibald, J. M. 2008. Plastid evolution: remnant algal genes in ciliates. *Current Biology*, 18: 663- 665.
- Baluška, F., D. Volkmann & P. W. Barlow. 2004. Eukaryotic cells and their Cell Bodies: Cell Theory revisited. *Annals of Botany*, 94:9-32.
- Barlow, P. W. 1994. Cell divisions in meristems and their contribution to organogenesis and plant form. En: Ingram DS, Hudson A, (eds.), *Shape and form in plants and fungi*. London: Academic Press, 169-193.
- Beck, C. B. 2010. *An introduction to plant structure and development*. Second edition. Cambridge University press. New York.
- Cavalier-Smith, T. 1998. A revised six- Kingdom system of life. *Biological Reviews*, 73: 203-266.
- Cavalier-Smith, T. 2004. Only Six Kingdoms of life. *Proceedings of the Royal Society of*

- London*, B 271: 1251-1262.
- Cavalier-Smith, T. 2006. Rooting the tree of life by transition analyses. *Biology Direct*, 1 (19): 1-83.
- Cavalier-Smith, T. 2010 a. Kingdoms Protozoa and Chromista and the eozoan root of the eukaryotic tree. *Biology Letters*, 6: 342-345.
- Cavalier-Smith, T. 2010 b. Deep phylogeny, ancestral groups and the four ages of life. *Philosophical Transactions of Royal Society of London, Series B* 365: 111-132.
- Chase, M. W & J. L. Reveal. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 122-127.
- Contreras-Ramos, A. & I. Goyenechea. 2007. *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*, Cap.1 pp: 11-21. En Contreras-Ramos, A.; Cuevas Cardona, C.; Goyenechea I. & U. Iturbe (Eds.): *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, México.
- Crisci, J. V. 2006. Espejos de nuestra época: biodiversidad, sistemática y educación. *Gayana Botánica*, 63(1): 106-114.
- Crisci, J. V. & L. Katinas. 2011. La Biodiversidad va a la escuela. Capítulo 18 pp.: 499-518. En E. Figueroa B. (Ed.): *Conservación de la Biodiversidad en las Américas: lecciones y recomendaciones de política*. Editorial FEN: Universidad de Chile.
- Engler, A. 1892. *Syllabus der Vorlesungen über specielle und medicinisch-pharmaceutische Botanik: Eine Uebersicht über das ganze Pflanzensystem mit Berücksichtigung der Medicinal- und Nutzpflanzen*. Berlin: Gebr. Borntraeger.
- Hennig, W. 1950. *Elementos de una Sistemática Filogenética*. Ed. Eudeba, Buenos Aires.
- Judd, W. S.; Campbell, C. S. Kellogg, E. A. Stevens, P. F. & M. J. Donoghue. 2008. *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*. Third Edition. Sinauer Asoc, USA.
- Kaplan, D. R. 1992. The Relationship of Cells to Organisms in Plants: Problem and Implications of an Organismal Perspective. *International Journal of Plant Sciences*, 153: 28-37.
- Keeling, P. J. 2004. The Diversity and Evolutionary History of Plastids and their Hosts. *American Journal of Botany*, 9: 1481-1493.
- Keeling, P. 2010. The Endosymbiotic Origin, Diversification and Fate of Plastids. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 729-748.
- Kenrick, P. & P. R. Crane. 1997. *The Origin and Early Diversification of Land Plants*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 441 pp.
- Korn, R. W. 1999. Biological organization: a new look at an old problem. *BioScience*, 49: 51-57.
- Leliaert, F.; Smith, D. R.; Moreau, H; Herron, M. D.; Verbruggen, H.; Delwiche, C. F. & O. De Clerck. 2012. Phylogeny and Molecular Evolution of the Green Algae. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31: 1-46.
- Lemieux, C., Otis, C. & M. Turmel. 2007. A Clade Uniting the green algae *Mesostigma viride* and *Chlorokybus atmophyticus* represents the deepest branch of the Streptophyta in chloroplast genome-based phylogenies. *BMC Biology*, 5: art no. 2.
- Léon, H. E. & M. C. Navarro Carbajal. 2005. La Sistemática en México. *Elementos*, 57: 13-19.
- Lewis, L. A. & R. M. Mc Court. 2004. Green Algae and the Origin of Land Plants. *American*

- Journal of Botany*, 91(10): 1535–1556.
- Linneo, C. 1758. Imperium Naturæ, en: *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Editio decima, reformata. Holmiae. (Laurentii Salvii). Tomus I: [1-4], 1-824.
- Lucas, W. J.; Ding, B. & C. van der Schoot. 1993. Plasmodesmata and the Supracellular Nature of Plants. *New Phytologist*, 125: 435–476.
- Margulis L. 1993. *Symbiosis in Cell Evolution*. San Francisco: W.H. Freeman & Co.
- Margulis, L. 2001. *El origen de la célula*. Ed. Reverté. México.
- Margulis, L. & D. Sagan. 1995. *Microcosmos. Cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*. Metatemas 39. Ed. Tusquets, Barcelona.
- Margulis, L. & D. Sagan. 2002. *Captando genomas. Una teoría sobre el origen de las especies*. Ed. Kairós. Barcelona.
- Mazzarello P. 1999. A Unifying Concept: the History of Cell Theory. *Nature Cell Biology*, 1: E13-E15.
- Niklas, K. J. 2000. The Evolution of Plant Body Plans - A Biomechanical Perspective. *Annals of Botany* 85: 411-438.
- Nurse, P. 2000. The Incredible Life and Times of Biological Cells. *Science*, 289: 1711-1716.
- Olson J.M. & R. E. Blankenship. 2005. Thinking about the Evolution of Photosynthesis, en Govindjee, J. T. Beatty, H. Gest & J.F. Allen (eds): *Discoveries in Photosynthesis*, pp. 1073–1086. Springer Verlag, New York.
- Pirani, J. R. & J. Prado. 2012. Embryopsida, a New Name for the Class of Land Plants. *Taxon*, 61: 1096–1098.
- Pires, N.D & L. Dolan. 2012. Morphological Evolution in Land Plants: New Designs with Old Genes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367: 508-518.
- Pollard, T. D. 2003. The Cytoskeleton, Cellular Motility, and the Reductionist Agenda. *Nature*, 422: 741-745.
- Price, D.C., Xin Chan, C, Su Yoon, H., Yang, E.C., Qiu, H., Weber, A.P.M., Schwacke, R., Gross, J., Blouin, N.A., Lane, C., Reyes-Prieto, A., Durnford, D.G., Neilson, J.A.D., Lang, B.F., Burger, G., Steiner, J.M., Löffelhardt, W., Meuser, J. E., Posewitz, M.C., Ball, S., Arias, M.C., Henrissat, B., Coutinho, P. M., Rensing, S.A., Symeonidi, A., Doddapaneni, H., Green, B.R., Rajah, V.D., Boore, J. & D. Bhattacharya. 2012. *Cyanophora paradoxa* Genome Elucidates Origin of Photosynthesis in Algae and Plants. *Science*, 335: 843-847.
- Richards, T. A. & J. M. Archibald. 2011. Cell Evolution: Gene Transfer Agents and the Origin of Mitochondria. *Current Biology*, 21: 112-114.
- Rodríguez-Ezpeleta N, Philippe H, Brinkmann H, Becker B, et al. 2007. Phylogenetic Analyses of Nuclear, Mitochondrial, and Plastid Multigene Data Sets Support the Placement of Mesostigma in the Streptophyta. *Molecular Biology and Evolution*, 24: 723–31.
- Rustom A., R. Saffrich, I. Markovic, P. Walther & H-H. Gerdes. 2004. Nanotubular Highways for Intercellular Organelle Transport. *Science*, 303: 1007-1010.
- Sitte P. 1992. A Modern Concept of the "Cell Theory": A Perspective on Competing Hypothesis of Structure. *International Journal of Plant Sciences*, 153: S1-S6.
- Terradas J. & J. Peñuelas. 2009. Evolution: Much More than Genetics. The Need for a Holistic View. *The Open Evolution Journal*, 3: 38-45.

- Tsukaya H. 2002. Interpretation of Mutants in Leaf Morphology: Genetic Evidence for a Compensatory System in Leaf Morphogenesis that Provides a New Link between Cell and Organismal Theories. *International Review of Cytology*, 217: 1-39.
- Whittaker, R. H. 1969. New Concepts of Kingdoms of Organisms. *Science* 163: 150-160.
- Wiley, E. O. & B. S. Lieberman. 2011. *Phylogenetics. Theory and Practice of Phylogenetic Systematics*. Second Edition. Ed. Wiley-Blackwell. 413 pp.
- Wise, R. R. 2006. The Diversity of Plastid Form and Function, Chap. 1: 3-26. In Wise, R. R & J. K. Hooper (Eds.). *The Structure and Function of Plastids*. Dordrecht: Springer. The Netherlands.
- Wojtaszek, P. 2001. Organismal View of a Plant and a Plant Cell. *Acta Biochimica Polonica*, 48: 443-451.
- Woese, C. R. & G. E. Fox. 1977. Phylogenetic Structure of the Prokaryotic Domain: The Primary Kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74 (11): 5088-5090.
- Woese, C. R.; O. Kandler & M. L. Wheelis. 1990. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87: 4576-4579.
- Wolpert L. 1995. The Evolution of the Cell Theory. *Philosophical Transactions of Royal Society of London, Series B* 349: 227-233.