

BOTÁNICA SISTEMÁTICA Y EVOLUTIVA, UNA VISIÓN INTEGRADORA

Pilar Catalán Rodríguez



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS

PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**BOTÁNICA SISTEMÁTICA Y EVOLUTIVA,
UNA VISIÓN INTEGRADORA**

BOTÁNICA SISTEMÁTICA Y EVOLUTIVA, UNA VISIÓN INTEGRADORA

Pilar Catalán Rodríguez

PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA



COLECCIÓN PARANINFO
PRIMA LECTIO

© Pilar Catalán Rodríguez

© De la presente edición, Prensas de la Universidad de Zaragoza
(Vicerrectorado de Cultura y Patrimonio)

1.ª edición, 2026

Prensas de la Universidad de Zaragoza

Edificio de Ciencias Geológicas

c/ Pedro Cerbuna, 12 • 50009 Zaragoza, España

Tel.: 976 761 330

puz@unizar.es <http://puz.unizar.es>

Impreso en España

Imprime: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

ISBN 979-13-7014-183-7

Depósito legal: Z 1519-2026

*A Alfonso Sarriá Guardia,
el más acertado espíritu crítico,
por tu honradez científica y tu amor.*

AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Rectora Magnífica de nuestra Universidad, Profesora Dra. Dña. Rosa María Bolea Bailo y a su equipo rectoral, por brindarme la oportunidad de impartir esta Lección Inaugural del curso académico 2026-2027, lo que supone un gran honor y con la esperanza de haber estado a la altura de sus expectativas.

A la Universidad de Zaragoza, y en especial a los rectores, vicerrectores, directores de centros, de institutos y de departamentos, profesores, y personal de administración y servicios que apoyaron y apoyan el desarrollo de una investigación avanzada en el Campus de Huesca, y por el respaldo que recibí y recibo de ellos para llevarla adelante.

A mis colegas del grupo de investigación Bioflora, establecido en la EPSHU, y sus miembros del IPE-CSIC de Jaca, y a colegas del Instituto BIFI y de la EEAD-CSIC de Zaragoza y del IRNASA-CSIC de Salamanca, con los que he compartido años de investigaciones, proyectos y formación de investigadores, que me han enriquecido.

A mis colegas Pablo Ferrer Gallego, Wenjie Mu, María Luisa Peleato Sánchez, Rubén Sancho Cohen, Juan Viruel

Sánchez e Íñigo Zabalgogeoazcoa González, por la discusión de algunos conceptos de esta lección inaugural, y a Miguel Campos Cáceres, Chunlin Chen, Wenjie Mu y Alba Sotomayor Alge, por algunos datos inéditos aportados.

A mis amigos del «club Miguel Catalán Sañudo», por promover su espíritu científico, pedagógico y humanista.

A mis compañeros del IEA, por incentivar la exploración del valioso patrimonio natural y cultural del Alto Aragón.

A mis mentores, con los que adquirí las bases científicas de mis conocimientos.

A mis vecinos de la Hoya-Somontano–Guara, con los que aprendí del campo y de la naturaleza.

A mis colegas y amigos de otras partes del mundo, con los que descubrí otros paisajes y otras escuelas.

A mi familia, antecesores, coetáneos y sucesores, fuente de inspiración, de apoyo y de cariño, en especial a ti Alfonso, que estarás siempre conmigo.

INTRODUCCIÓN

Intentar responder a la pregunta de por qué es importante investigar en Botánica y ofrecer una visión general y actualizada de esta ciencia en esta lección inaugural del curso académico 2026-2027 de la Universidad de Zaragoza es, sin duda, una tarea difícil. Cuando a finales del pasado mes de junio fui invitada por nuestra Ilma. Sra. Rectora Rosa Badía Bailo y su equipo rectoral a impartirla sentí, a la par que un enorme agradecimiento por este honor, una cierta inquietud por cómo transmitirla. La Botánica comprende numerosas disciplinas que abarcan el cúmulo de conocimientos obtenidos durante siglos por los científicos en el estudio de las plantas, desde diferentes aproximaciones generalmente interconectadas. En esta lección, dirigida al claustro, y a profesores, estudiantes y otros ciudadanos, muestro los avances logrados por los botánicos en algunas áreas de gran relevancia, desde la taxonomía clásica morfo-anatómica a la pangenómica, incidiendo en aquellos campos en los que nuestro equipo ha contribuido desde una perspectiva evolutiva y en los que tenemos más experiencia.

Los botánicos sistemáticos se han dedicado a lo largo de los siglos a la búsqueda de un sistema de clasificación

natural, para ordenar y nombrar la enorme diversidad vegetal del planeta, que alberga más de 350 000 especies de plantas actuales y cuyo número sigue aumentando al describirse continuamente nuevos taxones. Desde el sistema jerárquico establecido por Linneo, basado en caracteres morfológicos y el principio de discontinuidad taxonómica, se pasó a sistemas que emanaban de la síntesis moderna neodarwinista, aceptando la evolución por selección natural y la herencia mendeliana como principios básicos de la biología evolutiva, y sus aplicaciones a los sistemas de clasificación y a la circunscripción de grupos naturales. La irrupción de las reconstrucciones filogenéticas, en especial las basadas en caracteres moleculares, y más adelante genómicos, ha contribuido a un mayor conocimiento de las relaciones de parentesco de las plantas en el «árbol de la vida». Pero las distintas interpretaciones cladistas o sistemáticas evolutivas de los rangos taxonómicos han alterado los límites genéricos y de otros niveles, produciendo distintas clasificaciones.

Empleando las filogenias genómicas como marco evolutivo de referencia, se han desarrollado muy diversos estudios de plantas. Entre ellos están los biogeográficos y los filogeográficos, que reconstruyen las historias pretéritas de los linajes de especies y poblaciones según distintos factores geográficos, geológicos y climáticos temporales que explican su distribución territorial y sus características genéticas actuales. Otros estudios miden las tasas de diversificación que han experimentado distintos grupos de plantas en diferentes épocas geológicas explicando su riqueza actual y relacionándola con cambios climáticos y ambientales y las posibles relaciones con otros grupos de organismos. Los análisis evolutivos de la biología del desarrollo de plantas investigan la aparición de determinadas estructuras vegetales y sus ontogenias, o las dispares

rutas fisiológicas específicas de ciertos vegetales, y de las redes regulatorias que las controlan. Las plantas son y han sido especialmente proclives a la hibridación y a la poliploidización, y estos eventos recurrentes a lo largo de su historia evolutiva han generado numerosas innovaciones en sus ancestros que han sido heredados por ellas.

Aunque algunas plantas cultivadas están entre los vegetales más estudiados, otro grupo de plantas, las plantas modelo silvestres, han concentrado el mayor número de estudios en los vegetales y son hoy en día las mejor conocidas desde prácticamente cualquier aspecto científico. *Arabidopsis thaliana* para las dicotiledóneas y *Brachypodium distachyon* para las monocotiledóneas fueron seleccionadas como plantas modelo debido a sus especiales atributos biológicos y genómicos y a no verse afectadas por la erosión genética causada por la domesticación. Con estas plantas modelo se han alcanzado hitos del conocimiento en muy diversos campos de la biología y la genómica funcional, como la morfogénesis de ciertas estructuras celulares, la producción de biomasa, los tiempos de floración, la resistencia a patógenos y la tolerancia a estreses abióticos, entre otros. El reciente auge de los análisis pangenómicos, que analizan la genómica estructural y funcional de múltiples genomas de la misma especie o de grupos de especies próximas, están proporcionando datos clave para elucidar los mecanismos reguladores responsables de la amplia variabilidad fenotípica de las plantas.

Un aspecto fascinante de la biología y la evolución de las plantas es su larga historia de interrelación y coevolución con los organismos simbioses de su microbioma. Diversas comunidades de bacterias y hongos viven en el interior y en el exterior de las plantas, siendo la mayoría de ellos mutualistas beneficiosos, que favorecen la adaptación ecológica del holobionte. Las gramíneas templadas

han desarrollado relaciones simbióticas con hongos endófitos desde sus orígenes cretácicos; estos hongos sintetizan compuestos alcaloides que las protegen de la herbivoría, causando algunos compuestos más tóxicos enfermedades a los grandes herbívoros y al ganado, y otros menos tóxicos defensas ante la predación de los insectos. Las recientes investigaciones de la evolución del hologenoma de la planta hospedadora y de su endófito nos están permitiendo entender las respuestas adaptativas funcionales de los holobiontes ante diversas condiciones ambientales y sus interrelaciones enmarcadas en complejos escenarios macro- y micro- co-evolutivos.

Estos descubrimientos en distintas disciplinas del conocimiento botánico y su integración en un sistema de clasificación avanzado de las plantas van a ser tratados en los sucesivos capítulos de esta lección inaugural.

DIVERSIDAD BOTÁNICA, TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA

El interés de los humanos por la Botánica es tan antiguo como la humanidad, y la riqueza de la diversidad vegetal es abrumadora, estimándose en más de 350 000 especies las plantas que pueblan hoy día la Tierra (Christenhusz & Byng 2016; Freiberg et al. 2020). Conocer esa diversidad y analizarla ha sido el empeño de los seres humanos, en mayor medida de las especies beneficiosas, muchas de las cuales llegaron a ser domesticadas y cultivadas, pero también de las silvestres (Catalán 2023). Los estudios taxonómicos de plantas han sido exhaustivos, ya que no solamente han consistido en la identificación y la clasificación de las más de 295 000 especies de angiospermas (plantas con flores), más de 1000 de gimnospermas (coníferas y grupos próximos), más de 11 000 de pteridófitos (licopodios, equisetos, helechos y grupos próximos), ca. 22 000 de briófitos (musgos, hepáticas y antocerotas) y ca. 44 000 de algas (clorófitas o algas verdes, prasinófitas y antiguas carófitas) conocidas actualmente (Christenhusz & Byng 2016; Plants Of the World Online [POWO] 2026+; TROPICOS 2026+), sino en el empleo de diversas fuentes de datos que han permitido profundizar en su conocimiento, desvelando en varias de ellas su composición

genética, sus orígenes y relaciones evolutivas, sus características biológicas, sus distribuciones geográficas y sus adaptaciones ecológicas que contribuyen a su sistemática (Judd et al. 2002; Stevens 2017+).

Asociamos el nombre de Botánica a la **taxonomía** y a la **sistemática** vegetal, refiriéndonos en el primer caso al estudio, la clasificación y la nomenclatura de las plantas, y en el segundo al conjunto de evidencias científicas que apoyan tal clasificación (Stace 1989). Esas evidencias pueden ser de muy diversa índole, como las morfológicas y anatómicas, las cromosómicas, las bioquímicas, las ecofisiológicas, las geográficas, las paleontológicas o las moleculares y genómicas (Devesa & Carrión 2012; Catalán 2016). El desarrollo de la clasificación vegetal fue precedido por una larga tradición de estudios prelinneanos, en la que diversos naturalistas intentaron ordenar la diversidad de las plantas mediante la observación de sus características visibles y sus afinidades. Estas aportaciones constituyeron una base fundamental sobre la que posteriormente se desarrollaron los sistemas de clasificación linneanos y poslinneanos. Se puede considerar que la taxonomía moderna se estableció a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, con las obras de Carlos Linneo (1707-1778), cuando se impuso el criterio de la búsqueda de un sistema de clasificación natural de los seres vivos, que agrupase a aquellos que compartían un mayor número de caracteres, aun cuando en aquella época los estudios taxonómicos estaban basados fundamentalmente en caracteres morfológicos y anatómico-histológicos (Stace 1989). Esa búsqueda de un sistema natural de clasificación, que reuniese a organismos estrechamente emparentados entre sí, se acentuó en la segunda mitad del siglo XIX, tras la propuesta de la teoría de la evolución de Charles Robert Darwin (1809-1882) y Alfred Russel

Wallace (1823-1913), y a partir de ellos y de sus seguidores, los neodarwinistas, surgieron las nuevas escuelas evolutivas y sistemáticas del siglo xx, la basada en la sistemática evolutiva y la cladista, reforzadas por la aportación de nuevos datos a la sistemática de las plantas, en especial las filogenias moleculares, pero apoyando distintas interpretaciones sobre las circunscripciones de sus rangos taxonómicos (Stace 1989; Judd et al. 2002), que están siendo contrastadas en el siglo xxi.

Linneo fue el fundador de la taxonomía moderna, tanto para plantas como para animales. Estableció un **orden jerárquico**, clasificando a los organismos en especies, y en sucesivos rangos supraespecíficos más amplios (géneros, órdenes y clases), definiendo cada uno de ellos mediante determinadas características compartidas, que en el caso de las plantas consistían en caracteres de órganos reproductores sexuales masculinos (androceo) y femeninos (gineceo), y otros de estructura de la flor y del fruto. Su gran logro fue normalizar el uso del **sistema binomial**, aplicando un nombre genérico y un epíteto específico en latín a cada especie (Stace 1989; Devesa & Carrión 2012). Aunque el mismo Linneo fue consciente de la artificialidad de su sistema de clasificación sexual, que reunía a grupos dispares de plantas en ciertos órdenes y clases, sentó las bases del sistema nomenclatural actualmente imperante (Devesa & Carrión 2012). Las dos obras botánicas más relevantes de Linneo, *Genera Plantarum* (1737) y *Species Plantarum* (1753), sirvieron para clasificar a las plantas conocidas en aquel tiempo y fueron universalmente aceptados. En particular, *Species Plantarum* marcó un punto de partida histórico al aplicar de manera sistemática la nomenclatura binomial a las especies vegetales conocidas, convirtiéndose en el pilar de referencia para el establecimiento del Código Internacional

de Nomenclatura Botánica (ICBN, en sus siglas en inglés) (Stace 1989; Ronquist 2012). La necesidad de establecer reglas universales para la aplicación de los nombres científicos surgió a medida que aumentaba el número de especies descritas y se acumulaban diferentes nombres para una misma planta. Durante los siglos XVIII y XIX, la proliferación de nombres y sistemas de clasificación generó numerosos problemas de interpretación, lo que hizo necesaria la creación de normas internacionales que permitieran dotar de estabilidad y precisión a la nomenclatura botánica. Estos principios, desarrollados progresivamente desde los primeros códigos de nomenclatura y consolidados en el actual *Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas* (ICN en sus siglas en inglés), cuya última versión fue aprobada en el XX Congreso Internacional de Botánica de Madrid (Turland et al. 2025), constituyen la base sobre la que se regula actualmente la denominación de nuevas especies de plantas, algas y hongos y de sus otros rangos taxonómicos.

Los principios más importantes del ICN son los de **prioridad** y **tipificación**. La prioridad reivindica que el nombre más antiguo válidamente publicado es el único aceptado para un taxón. La tipificación garantiza que un espécimen (**holotipo**) de la nueva especie descrita queda depositado en un herbario oficial, asegurando la estabilidad al aplicar el nombre (**tipo nomenclatural**) (Stace 1989; Ronquist 2012; Turland et al. 2025) (figura 1a). Cuando hay duplicados de un mismo espécimen tipo estos se denominan **isotipos**, y suelen depositarse en distintos herbarios. Cuando diferentes autores han descrito una misma planta con diversos nombres científicos, el principio de prioridad establece qué nombre debe aplicarse, subordinando los otros nombres (**sinónimos**) al primero (Stace 1989; Turland et al. 2025). No obstante, la aplicación



Figura 1. a) Lectotipo de *Olea europaea*, BM 000557513, el olivo, descrito por Linneo en su obra *Species Plantarum*. **b)** Isotipo de *Podophorus bromoides*, K000433684, planta extinta del archipiélago Juan Fernández y de cuyo material tipo se obtuvo ADN para su estudio filogenético. Imágenes de los tipos obtenidas de los herbarios British Museum (BM) y Kew Botanical Gardens (K).

estricta del principio de prioridad puede ocasionar cambios nomenclaturales que afecten a nombres ampliamente utilizados. Por ello, el ICN contempla mecanismos excepcionales de conservación y rechazo de nombres, cuyo objetivo es preservar la estabilidad y evitar modificaciones innecesarias en la nomenclatura científica. En ocasiones, los materiales tipos no son idóneos, no fueron designados expresamente por los autores del nuevo taxón, o han desaparecido, lo que abre la posibilidad de proponer nuevos tipos nomenclaturales (**lectotipos**, **neotipos** o **epitipos**). Asimismo, los nuevos análisis pueden aconsejar

la necesidad de llevar a cabo cambios taxonómicos o nomenclaturales en especies ya descritas, o de mantener nombres no prioritarios debido a su amplio uso entre la comunidad científica. Estas propuestas de conservación o de rechazo de nombres taxonómicos son revisadas por los comités permanentes de nomenclatura que emiten recomendaciones de acuerdo con las disposiciones del Código, y cuya aprobación definitiva se lleva a cabo en los congresos internacionales de Botánica.

Los ejemplares tipo son fundamentales para establecer las identidades taxonómicas de las especies aceptadas y poder describir otras nuevas especies para la ciencia. Desde la consolidación de la nomenclatura botánica moderna, los ejemplares tipo han adquirido un papel crucial al actuar como referencia física permanente asociada a un nombre científico, permitiendo que la aplicación de los nombres pueda ser revisada y contrastada por diferentes generaciones de investigadores. Esta función convierte a los herbarios no solo en archivos históricos de la biodiversidad, sino también en infraestructuras científicas esenciales para el desarrollo de la taxonomía y la sistemática vegetal. Los materiales tipo constituyen una de las mayores riquezas de los herbarios. Ejemplos a nivel mundial son el herbario LINN, custodiado por la Linnean Society en Londres, con más de 4000 tipos de Linneo, o el herbario MA, ubicado en el Real Jardín Botánico de Madrid, con más de 9000 tipos procedentes de las expediciones científicas de los siglos XVIII y XIX (como las de José Celestino Mutis y Bosio [1732-1808] en Nueva Granada [Colombia], Hipólito Ruiz López [1754-1816] y José Antonio Pavón Jiménez [1754-1840] en el virreinato del Perú, Martín de Sessé y Lacasta [1751-1808] y José Mariano Mociño Suárez de Figueroa [1757-1820] en Nueva España [México] y Antonio José Cavanilles y Palop [1754-1804] en

ÍNDICE

Agradecimientos	9
Introducción	11
Diversidad botánica, taxonomía y sistemática	15
El concepto de especie en plantas	27
Cladística vs. Sistemática evolutiva	51
Genómica y evolución en vegetales.....	71
Plantas modelo y pangenomas	79
Interacciones planta-endófito y coevolución	99
Conclusiones.....	121
Referencias.....	125

*Este libro se terminó de imprimir
en los talleres del Servicio de Publicaciones
de la Universidad de Zaragoza
el 16 de septiembre de 2026*

COLECCIÓN PARANINFO
PRIMA LECTIO



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS



Universidad Zaragoza