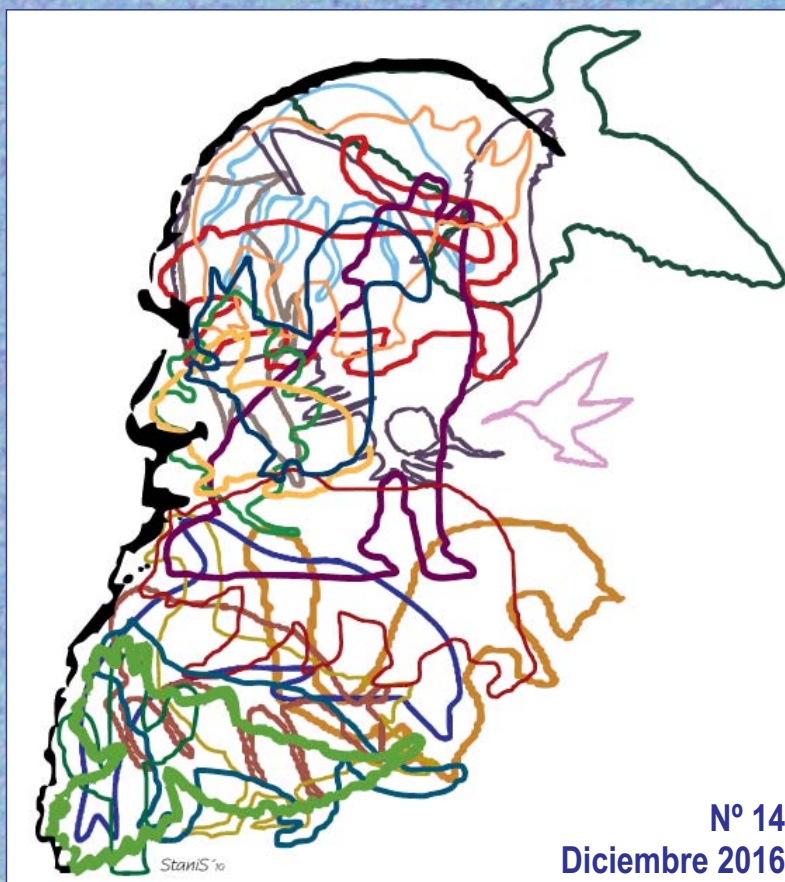


# Ambio Ciencias

REVISTA DE DIVULGACIÓN



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN



Nº 14  
Diciembre 2016

★ 1968 ★



★ 2016 ★

## Consejo de Redacción

### Director:

Juan Manuel Nieto Nafría

Catedrático de Universidad del Área de Zoología

### Secretario:

Francisco Javier Rúa Aller

Profesor Titular del Área de Bioquímica y  
Biología Molecular

### Miembros:

José Luis Acebes Arranz

Profesor Titular del Área de Fisiología Vegetal

Raquel Alonso Redondo

Vice-Decana de la Facultad de CC. Biológicas y  
Ambientales

María Luz Centeno Martín

Profesora Titular del Área de Fisiología Vegetal

Delia Fernández González

Profesora Titular del Área de Botánica

Estanislao de Luis Calabuig

Catedrático de Universidad del Área de Ecología

Luis Mariano Mateos Delgado

Profesor Titular del Área de Microbiología

Luis E. Sáenz de Miera Carnicer

Profesor Titular del Área de Genética

**Edita:** Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la  
Universidad de León

**Colabora:** Área de Publicaciones de la Universidad de León.

**Maquetación:** Ana Alonso Simón.

© **Universidad de León**

© **Los autores**

**ISSN:** 1988-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa)

**Dep. Legal:** LE-903-07



universidad  
de león



Facultad de Ciencias  
Biológicas y Ambientales

**En portada:**

Logotipo diseñado por el Dr. Luis Calabuig inspirado en la figura de Sir Charles Darwin.

## ÍNDICE

### Editorial

Juan M. Nieto Nafría ..... 3

### A fondo

**Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de los usos y de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo**

Félix Llamas y Carmen Acedo.....5

### Poniendo en claro

**”Magnificción” ¿una solución a la producción de anticuerpos recombinantes en situaciones de epidemia/pandemia?**

iris Asensio García y María Luz Centeno Martín .....19

### Siguiendo la pista

**Desde las raíces: etimologías embelesadoras de palabras comunes procedentes de plantas**

José Luis Acebes Arranz.....40

**Denominaciones de algunas legumbres en la provincia leonesa**

Janick Le Men Loyer .....51

### Baúl de la Ciencia

**Estudio de la precipitación mediante disdrómetros**

María Fernández Raga.....60

### Uno de los nuestros

**Francis Crick: teórico de la biología molecular**

Marcelino Pérez de la Vega .....74



**Ambiólogos de aquí**

**De la Dendrología, pasando por la Fitobacteriología, al Registro de Variedades Protegidas para el Título de Obtención Vegetal**

María José Villalón Robles .....82

**Mi proyecto de tesis**

**Valoración energética de un cultivo energético tras la aplicación de abonado orgánico**

Sergio Paniagua Bermejo .....88

**Comentando lo publicado**

**Comentando *Laudato Si*, de Jorge Bergoglio, 2015. Sobre el cuidado de la Casa Común: una lección de Ecología Integral**

Estanislao de Luis Calabuig .....91

**De todo un poco**

**Noticias de actualidad.....104**

## EDITORIAL

Con este número, el decimocuarto, aunque han sido dos más los publicados —pues hay un número 0 y un volumen extraordinario— se incorpora nuestra revista al **portal de revistas de la Universidad de León**, hermanándose con otras de distintos ámbitos del conocimiento y diferentes enfoques y destinatarios. Confiamos que esta incorporación, fortalezca a nuestra Universidad, e incrementemente la difusión de esta publicación.

Como consecuencia de este cambio editorial la portada de la revista se va a estabilizar en la que ahora tiene, amable lector, ante sus ojos. Mantenemos lo esencial de las portadas que se han ido sucediendo, que ya es un signo de identidad de la revista, con su nombre, el emblema de la Facultad y el escudo de la Universidad, y al pie la tan característica fachada del edificio principal de la Facultad. El fondo de la portada es precisamente el del volumen anterior: un juego en desenfoque de una parte de la copa de un árbol ante el azul del firmamento, queriendo indicar nuestra vinculación con el estudio de los seres vivos, aquí el árbol, y con el medio en el que estos se desarrollan, aquí la atmósfera. El centro de las portadas estará ocupado por una imagen que irá variando en cada número, en éste es un dibujo de Estanisló de Luis Calabuig, compañero de la Facultad y del Consejo de Redacción de AmbioCiencias, en un doble guiño a Darwin: al mismo Charles Darwin por cuanto el estudio de las ciencias biológicas y de las ambientales son consustanciales en nuestro mundo con el hecho de la evolución, y al otro edificio en el que se desarrollan nuestras actividades lectivas, el *edificio Darwin*.

AmbioCiencias está caminando hacia la difusión exclusiva por vía informática y habrá de ir ajustando su formato y presentación a esa forma de difusión, con el fin de conseguir una cómoda lectura en la pantalla del ordenador o de cualquier otro dispositivo electrónico y también en papel tras su impresión.

Mediante algunos artículos de este volumen, AmbioCiencias se une a las celebraciones del **Año Internacional de las legumbres**, el 2016, acordado por la Asamblea General de las ONU en su 68.º período de sesiones. Lo hacemos con dos artículos, uno en la sección de “A fondo” y otro en la sección “Siguiendo la pista”. El último de ellos abre también una vía de colaboración con colegas de otros ámbitos del conocimiento en el convencimiento que tenemos que el progreso de la ciencia deberá estar a cargo de personas conocedoras en profundidad de su campo de especialidad, pero provistos de un amplio bagaje cultural y a quienes, sobre todo, nada les sea extraño.

Forma de mencionar este artículo: 2016, Editorial. AmbioCiencias, 14, 3-4. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

En esa línea, queremos recomendar al lector, mediante estos renglones, la lectura del artículo *Encuentros con... Francisco J. Ayala* de Diego Bermejo, de la Universidad de Deusto, publicado en un reciente número del semanario *Alfa y Omega*, al que se puede acceder en el enlace <<http://www.alfayomega.es/78105/es-ingenuo-pensar-que-solo-la-ciencia-da-conocimiento>>. El artículo es una entrevista, más en el sentido de conversación entre amigos que en el de indagación mediante preguntas, que el profesor Bermejo hizo al Prof. Francisco Ayala —doctor honoris causa por nuestra Universidad de León desde hace ya varios decenios— con motivo de su reciente investidura como doctor honoris causa por la Universidad Pontificia de Comillas, cuyo interés reside en recoger de forma sucinta —aunque a veces compleja— las opiniones que un destacado biólogo y un conocido filósofo tienen sobre la evolución biológica, sobre su aceptación o no aceptación, sobre las ideas pseudocientíficas que se presentan por algunos como una alternativa válida a las teorías evolutivas, y más en general sobre las relaciones entre ciencia y religión.

## A FONDO

### Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo

Félix Llamas<sup>1</sup> y Carmen Acedo<sup>2</sup>

Grupo de investigación de Taxonomía y Conservación Vegetal. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Fac. CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León. E-24071.

1. [f.llamas@unileon.es](mailto:f.llamas@unileon.es); 2. [c.acedo@unileon.es](mailto:c.acedo@unileon.es)

¿Qué son exactamente las leguminosas? ¿Y las legumbres? Para explicarlo se hace un seguimiento botánico de la clasificación de la familia Fabaceae a lo largo del tiempo hasta llegar al momento actual, en la que las relaciones filogenéticas conocidas juegan un papel importante en las más recientes propuestas taxonómicas. Para ello se presenta una reseña de las clasificaciones más importantes por su duración en el ámbito científico y se destacan las posiciones taxonómicas por las que ha pasado de este grupo tan importante para la economía y la vida humana. Se aportan algunos datos básicos de las características y usos de las plantas de la familia.

**Palabras clave:** Clasificaciones, Fabaceae, Filogenia, Leguminosas, usos.

#### Introducción

En el Año Internacional de las legumbres “International year of Pulses - IYP 2016” (FAO 2016) queremos hacer una glosa de las Leguminosas a lo largo del tiempo, por ser este grupo botánico al que pertenecen todas las plantas que forman fruto en legumbre (**Fig. 1**). Aquí se encuentran incluidas aquellas especies cuyas semillas son consumidas en seco, que son una de las bases de la alimentación de muchas culturas en todo el mundo, y su domesticación y cultivo parece ser paralelo al de los cereales: soja en China; habas, lentejas, garbanzos y guisantes en próximo Oriente; caupí y el maní bambara en África; soja y habas mung en el Este de Asia; guandú y los garbanzos en el sur de Asia; y frijol, haba, frijol corredor escarlata, *Phaseolus acutifolius* y altramuza en América Central y del Sur.

Las legumbres se consideran un superalimento con numerosas ventajas nutricionales por sus semillas altamente nutritivas que además permiten un desarrollo sostenible. Además, proporcionan medicinas, maderas, forraje y contri-

Forma de mencionar este artículo: Llamas, F., Acedo, C. 2016, Las Leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de los usos y de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. AmbioCiencias, 14, 5-18. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

buyen al enriquecimiento del suelo. Aunque botánicamente se llama legumbre a los frutos que forman las plantas de esta familia, desde un punto de vista alimentario la FAO solo considera legumbres las semillas de las plantas de esta familia que se consumen en seco (descartando tanto las verduras u hortalizas que se consumen frescas, como los guisantes o los tirabeques, las especies forrajeras o las cultivadas para la producción de biocombustibles (FAO 2016).



**Figura 1.** Representación del diferente concepto de legumbre desde el punto de vista alimenticio (FAO 2016) y de acuerdo con el concepto botánico (modificado de LOWO, 2005).

En nuestro caso, vamos a referirnos a todas las leguminosas, que pertenecen a la familia de las Fabaceae o Leguminosae, extendida por todo el planeta, excluyendo regiones polares y desiertos de temperaturas extremas. Con sus casi 20.000 especies, 750 géneros (Lewis *et al.* 2013, LPWG 2013a), es la tercera mayor familia de plantas angiospermas (después de Orchidaceae y Asteraceae que llegan a las 25.000 especies). Económicamente, las Leguminosae representan la segunda familia más importante de las plantas cultivadas después de la familia de las gramíneas o Poaceae que incluye los cereales. Las leguminosas de grano representan el 27% de la producción agrícola mundial y proporcionan el 33% de la proteína de la dieta consumida por los seres humanos, mientras que los pastos y leguminosas forrajeras proporcionan parte vital de la alimentación animal. Pero esta familia posee mayor diversidad en hábito, flores y diversidad de frutos. Todos estos criterios se utilizan para medir el éxito evolutivo y todos ellos, número de especies, distribución geográfica, abundancia ecológica, diversidad ecológica, así como las tasas de diversificación, o la presencia de clados de rápida evolución sugieren que la familia de las leguminosas es uno de los linajes más exitosos de plantas con flores (Koenen *et al.* 2013).

La principal característica de la familia Fabaceae radica en la posesión de un fruto conocido como legumbre. La definición botánica de legumbre es: fruto seco, dehiscente, pluriseminado, que en la madurez de abre por dos líneas correspondientes a la sutura y al nervio central del único carpelo que constituye el gineceo en cada flor. Ya en el Paleolítico, las plantas de esta familia empezaron a tener utilidad para el hombre y los animales, al tener frutos o semillas comes-



tibles y muy nutritivas. Según las especies, se puede usar el fruto completo con las semillas que contiene, o bien únicamente las semillas. Quizás sea este, el motivo por el que las semillas de este grupo son conocidas a nivel popular como legumbres (en este caso con un significado diferente al del término botánico legumbre que hace alusión al fruto). También son importantísimas en la nutrición animal, tanto por el valor alimenticio de frutos y semillas, como por el resto de la planta usada como forraje o como especie pascícola. Además, las leguminosas poseen una característica generalizada que es albergar en sus raíces bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico, asociación que origina los nódulos radicales que presentan. Estas bacterias aportan a la planta el nitrógeno necesario y como consecuencia las leguminosas no solo no necesitan fertilizantes para alcanzar un desarrollo normal, sino que se usan en los cultivos alternantes, un año una leguminosa y al siguiente otra planta diferente, para tener las tierras de cultivo siempre fertilizadas de forma natural. El año en que se cultiva la leguminosa, ésta sirve para fertilizar el suelo al acumular el nitrógeno atmosférico fijado que servirá al año siguiente para cultivar otra especie en ese suelo fertilizado para aprovecharlo.

### **Conocer las leguminosas**

Actualmente existen iniciativas internacionales como ILDIS (2005) para compilar la información disponible, mantener bases de datos de plantas de la familia Fabaceae y ofrecer servicios a los científicos y otras personas interesadas en estas plantas, incluyendo un sitio web para el acceso a la base de datos. La lista verificada ILDIS se suministra también al Catálogo de la Vida - ToL (Wojciechowski *et al.* 2006). Desde Kew se ofrece la base de datos “Legumbres del mundo en línea” (LOWO 2016); es parte del compromiso para avanzar en el conocimiento y la comprensión de los géneros de la familia de las leguminosas, iniciada con el libro *Las legumbres del Mundo*, (Lewis *et al.* 2005), con la información de géneros de leguminosas y recursos web actualizados. El Equipo de Investigación de Leguminosas de Kew gestiona y actualiza la base de datos LOWO en colaboración con la comunidad internacional de botánicos sistemáticos de leguminosas. Los usuarios pueden navegar y buscar información sobre géneros de leguminosas a través de la jerarquía tradicional subfamilia-tribu-género o en un moderno sistema de clasificación basado en la filogenia.

Desde el punto de vista de la actualización de la sistemática y filogenia, el responsable es el grupo de trabajo sobre filogenia de las leguminosas (LPWG 2013a, 2013b).

## Morfología

Al ser una familia muy diversa (con muchas especies) y de distribución cosmopolita, no es de extrañar que posea mucha variabilidad. Esta variabilidad se ha tenido en cuenta para la escisión de la familia en tres grupos morfológicos que corresponden a las tres subfamilias reconocidas en la mayoría de las clasificaciones.

El primer grupo es el de la subfamilia *Mimosoideae*, grupo de las mimosas y acacias. Son mayoritariamente árboles o arbustos. Sus hojas son casi siempre alternas y la mayoría de las veces bipinnado-compuestas, aunque unas especies de *Acacia* las poseen pinnado compuestas. Tienen pulvínulos en sus hojas, por lo que varias especies son sensitivas y apreciadas en jardinería (p. ej. *Mimosa pudica* L.). Las flores están agrupadas en racimos, espigas o cabezuelas, siendo estas inflorescencias más vistosas que las flores individuales que suelen ser pequeñas, bisexuales y regulares. Los cálices están formados por cinco sépalos unidos; las corolas tienen cinco pétalos libres; los estambres, normalmente diez, provistos de filamentos muy largos y coloreados con anteras pequeñas, son lo más llamativo de las inflorescencias. El gineceo está compuesto por un solo carpelo. Esta subfamilia incluye uno de los grandes géneros de angiospermas, el género *Acacia*, con más de 1200 especies, de las cuales varias se comportan como invasoras.

En *Cesalpinoideae* la mayoría de las especies son árboles o arbustos. Sus hojas son alternas y predominan las pinnado compuestas seguidas de las simples, todas ellas provistas de estípulas. Las flores, de tamaño variable, están agrupadas en racimos o espigas. Son bisexuales, más o menos irregulares pero no papilionadas (en el género *Cercis* se aproximan a papilionadas, pero el borde del estandarte está al interior de las alas); el cáliz está formado por cinco sépalos que pueden estar independientes, totalmente unidos (cáliz sinsépalo) o solo unidos los dos superiores; la corola es irregular, formada por cinco pétalos de los que el superior es interior a los demás; el androceo está formado por diez estambres generalmente libres y solo en ocasiones algo soldados. El gineceo está formado por un solo carpelo.

En *Faboideae* predominan las especies herbáceas, que a veces son trepadoras, junto a las arbustivas (se incluyen aquí las genisteas). Las hojas son alternas, predominando las que son compuestas (pinnadas, palmadas o trifolioladas), y más raramente simples. Las flores generalmente están agrupadas en racimos, espigas o cabezuelas; son bisexuales; su cáliz gamosépalo está compuesto por cinco sépalos, a veces bilabiado; la corola es dialipétala de cinco pétalos, sien-

do el superior el estandarte, los laterales las alas, y los dos inferiores e internos forman la quilla que rodea tanto a androceo como a gineceo; el androceo tiene diez estambres de los que nueve están connados y el décimo (en posición adaxial) parcial o totalmente separado del grupo; el gineceo está formado por un solo carpelo, con varios óvulos mayoritariamente campilótropos (**Fig. 2**).



**Figura 2.** Inflorescencia de *Medicago sativa* L. (alfalfa) y detalle de la flor papilionada.

### Las clasificaciones

A lo largo del tiempo las plantas leguminosas se han incluido en la familia Fabaceae. Al principio se conocieron como Leguminosae, nombre tan introducido y extendido que aún hoy se usa como nombre conservado. Además, es necesario disponer de un nombre para la familia derivado del nombre de un género añadiendo la desinencia –aceae, por lo que también recibe el nombre de Fabaceae. Esta familia se ha dividido tradicionalmente en tres grupos con el rango de familias (Cronquist 1981) o bien como subfamilias (Polhill y Raven 1981; Talavera *et al.* 1999). Estos tres grupos son fáciles de explicar y proporcionan un esquema sencillo para abordar la identificación de las leguminosas. El rango taxonómico de subfamilia es importante en la familia Fabaceae pero no representa las relaciones filogenéticas conocidas entre las leguminosas (LPWG 2013a).

Si nos remontamos a la clasificación linneana, Linneo (1752) incluye las Mimosas en *Polyandria Monogynia*, el grupo de *Cercis* y *Cesalpinia* en *Decandria Monogynia*, y el resto en *Diadelphia Decandria*. Aunque Linneo no utilizaba las familias, establece ya tres grupos de plantas con fruto en legumbre, que tiempo más tarde serán reconocidos como familias o subfamilias. Así mismo, es de hacer notar que en el grupo *Diadelphia Decandria* existen tanto especies diadelfas como monadelfas. Hay que tener en cuenta que esta clasificación, al ser artificial, incluye dentro de cada grupo especies que no son en absoluto leguminosas, ni están relacionadas con ellas, sino que simplemente coinciden en el número de estambres y carpelos. Como ejemplo, *Mimosa* se encuentra en el mismo grupo que *Papaver* (amapolas) y *Cistus* (jaras).

El término Leguminosae fue propuesto por Jussieu (1789) en la clase XIV, Orden XI, en el que se incluyen todos los géneros de leguminosas y se diferencian los distintos tipos de flores. Reconoce diez grupos de leguminosas basados en las características de la flor y la legumbre, y añade un pequeño grupo más de géneros afines a leguminosas.

De Candolle (1824–1873) las incluyen en la clase I. *DICOTYLEDONEÆ* subclase II. *CALYCIFLORÆ* orden LXIII. *LEGUMINOSÆ*. Parece ser que esta clasificación ha sido la que popularizó el término de Leguminosae al haber tenido mayor difusión que la de Jussieu. Dentro del orden *LEGUMINOSÆ* reconocen cuatro subórdenes: Papilionaceae, Swartzieae, Mimoseae y Caesalpineae. Nos encontramos en esta clasificación los tres grupos que se reconocen actualmente, junto con las Swartzieae que en las clasificaciones modernas están integradas en las Cesalpinoideas.

De acuerdo con Engler y Prantl (1887–1915), se incluyen la División Embryophyta-Siphonogamae, Subdivision Angiospermae, Clase Dicotyledoneae, Subclase Archichlamydeae (Choripetalae, Apetalae) (25 órdenes) orden Rosales, suborden Leguminosineae y dentro de éstas Leguminosae. La familia se divide en tres subfamilias: Mimosoideae, Cesalpinioideae y Papilionatae. Esta obra, aunque esté escrita en alemán, ha tenido una aceptación y repercusión enorme durante todo el siglo XX. Aún existen herbarios, como NY (New York) en los que las plantas están ordenadas siguiendo este sistema de clasificación.

La era moderna en la sistemática de las leguminosas se remonta a finales del siglo XX, para la que supuso un avance importante la celebración de la primera Conferencia internacional sobre Leguminosas y la publicación de *Advances in Legume Systematics* (Polhill y Raven, 1981). Estos autores lideraron un grupo de sistemáticos que abordaron una importante revisión de la sistemática de las leguminosas. Simultáneamente, aparece la clasificación de Cronquist (1981) que, como se ha señalado anteriormente, incluye a todas las leguminosas en el orden Fabales, y diferencia tres familias Mimosaceae, Cesalpinaceae y Fabaceae.

Esta clasificación fue de las más influyentes del siglo, y ha tenido gran aceptación. Además, aporta características de tipo anatómico y de tipo bioquímico que aún se utilizan en las taxonomías actuales.

A principios del siglo XXI aparece una clasificación nueva (APG II, 2003). Esta clasificación ha adquirido mucha relevancia en muy poco tiempo, que se mantiene en las versiones posteriores. Su nombre es el acrónimo de *Angiosperm Phylogeny Group* (Grupo de Filogenia de Angiospermas), y su clasificación está

basada mayormente en resultados moleculares que se interpretan siguiendo la metodología cladista. Previamente se había publicado la primera versión con éxito limitado. Es de resaltar que, hasta la aparición de este grupo, las clasificaciones habían sido elaboradas por una sola persona, ocasionalmente con alguna colaboración y que, por el contrario, esta clasificación la realiza un grupo numeroso de investigadores de varios centros. Cada integrante del grupo, cerca de treinta investigadores, entre ellos los expertos en leguminosas, se dedica a solucionar las lagunas que quedan en las distintas aproximaciones, y se obtienen nuevos datos de un modo rápido.

### Filogenia

En APG IV (2016) se mantiene el orden Fabales que incluye Fabaceae (=Leguminosae), Polygalaceae, Quillajaceae y Surianaceae. Es decir, se mantienen las mismas familias y en el caso de la familia Fabaceae también el mismo contenido.

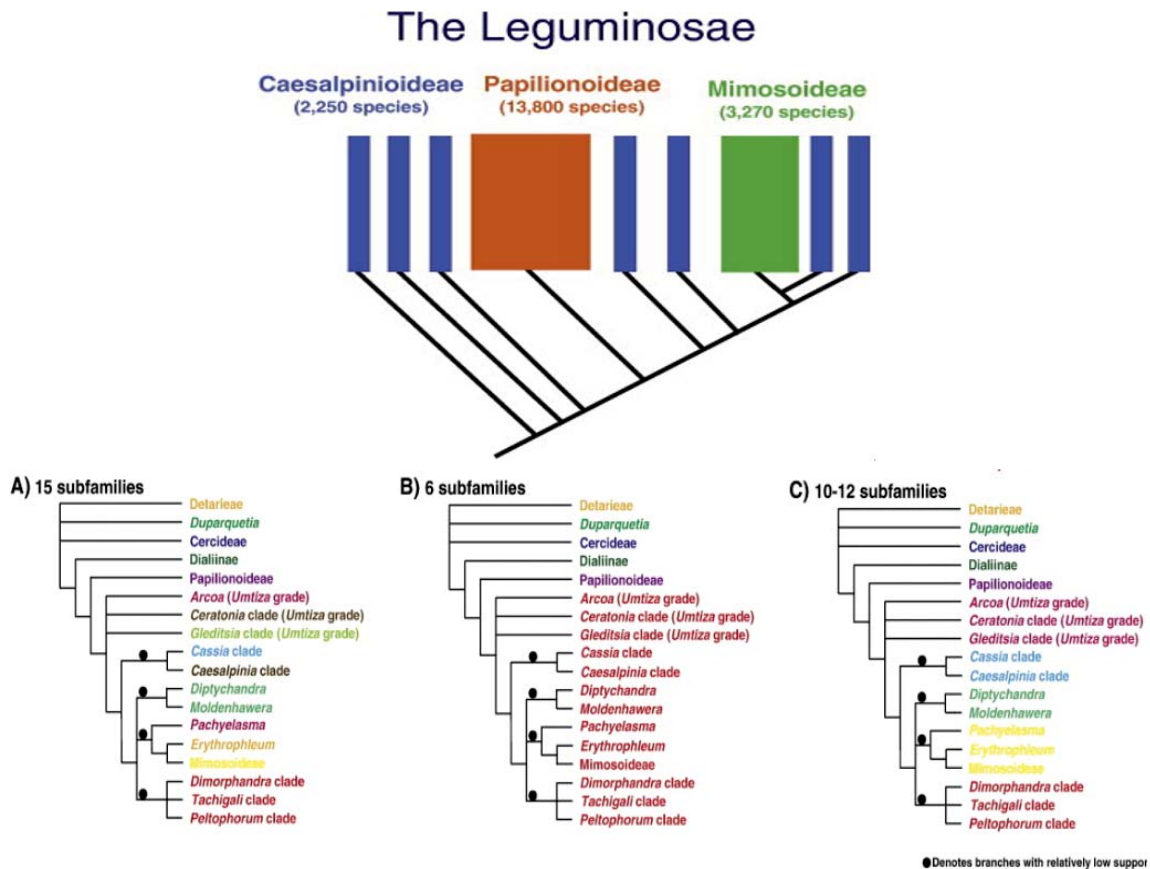
La familia Fabaceae ha sido tradicionalmente incluida en las Fabales, estrechamente emparentadas con el “core” Rosidae, uno de los principales linajes de plantas con flores.

El emplazamiento de las Fabaceae en las Rosidae es consistente, pero hay controversia respecto a su contenido. Actualmente se acepta que las Fabaceae están conformadas por tres grupos: las leguminosas en sentido estricto de la subfam. Faboideae, y además se reconocen otras dos subfamilias: Mimosoideae y Cesalpinoideae. Esta última es paráfletica y se entremezcla con los otros linajes de Fabaceae.

Los estudios de filogenia molecular de las leguminosas han aclarado notablemente las controversias existentes. Está aceptado actualmente que todas las leguminosas pertenecen a un gran grupo taxonómico, una única familia con al menos dos subgrupos o linajes que se distinguen bien tanto molecular como morfológicamente: las **Papilonoideae (Fabaceae**, en el sentido estricto para algunas clasificaciones precedentes) y las **Mimosoideae**. Además de estos dos grupos, se acomodan entre ellas, el resto de las leguminosas que forman una mezcla de gran variación morfológica y molecular y que suele tratarse como la tercera subfamilia. Este grupo se ha reconocido como **Cesalpinoideae**.

A pesar de las diversas propuestas recogidas en las clasificaciones de angiospermas, las Leguminosae necesitaban una clasificación actualizada. Por ello, el Grupo de Trabajo sobre Filogenia de Leguminosas inició ya en esta década, un proyecto de revisión de la clasificación en la Conferencia Internacional de

Leguminosae celebrada en Johannesburgo (**Fig. 3**) (LPWG 2013a, 2013b, Van Wyk y Boatwright, 2013). Este grupo ha abordado también la nomenclatura puesto que sólo los grupos monofiléticos deben ser nombrados como rangos taxonómicos linneanos.



**Figura 3.** Esquema filogenético general de las leguminosas que refleja una subfamilia Caesalpinioideae parafilética, y las posiciones anidadas de las subfamilias Mimosoideae y Papilionoideae (basado en LPWG, 2013a). Las subfamilias se indican usando diferentes colores. En la parte inferior se resumen algunas hipótesis discutidas, en las que varía el número de subfamilias dependiendo de cómo se resuelven el género *Umtiza* y los géneros del grupo *Dimorphandra* asociado con Mimosoideae (modificado de LPWG, 2013a).

Las propuestas barajadas en la última conferencia abordaban el reconocimiento de nuevas subfamilias para resolver la parafilia de las Cesalpinioideae, pero este proyecto de clasificación sufrió críticas significativas por el gran número de subfamilias propuestas. Por el contrario, el número de tribus propuestas no fue criticado, a pesar de que aumentó de 42 (Polhill y Raven, 1981) a 57.

## Usos

Las plantas de esa familia se conocen por ser comestibles tanto por animales domésticos como por humanos. Los animales comen la planta entera como forrajera, o bien sus frutos y semillas. Desde el punto de vista de la alimentación humana, lo más importante son las semillas, tomadas directamente como alimento o utilizadas como oleaginosas. En resumen, las leguminosas contribuyen a la seguridad alimentaria, a la nutrición, a la salud, a combatir el cambio climático y a favorecer la biodiversidad. Muchas de ellas han sido cultivadas como ornamentales, otras como plantas forrajeras y otras por sus semillas o legumbres comestibles o porque de ellas se extraen aceites, tinturas o principios activos medicinales.

## Las legumbres

Las legumbres constituyen uno de los componentes esenciales de la alimentación humana desde hace siglos. A pesar de ello, su valor nutricional no es suficientemente reconocido y con frecuencia su consumo no se valora lo suficiente. Es una falta de reconocimiento innecesaria, puesto que las legumbres desempeñan una función crucial en la alimentación saludable, en la producción sostenible de alimentos y, sobre todo, en la seguridad alimentaria. En nuestra cultura mediterránea, son frecuentes en todas las regiones los platos de alubias, garbanzos, lentejas, arvejas o guisantes (que en ocasiones también se consumen secos) entre otras. Pero a nivel mundial existen miles de variedades imposible de enumerar con detalle.

Aunque su interés por tener especies comestibles es innegable, no deja de sorprender la existencia de especies tóxicas que producen en los humanos flavismo y latirismo. Esta toxicidad es también un problema en la alimentación animal cuando éstos consumen ejemplares del género *Astragalus*, que ya ha causado intoxicaciones importantes en la cabaña ganadera en Norte América.

## Madera

En general, es de interés la madera de especies arbóreas tropicales, destacando entre las especies maderables aquellas pertenecientes a los géneros *Acacia*, *Bahinia* (pata de vaca), *Erythrina* (árbol del coral, en portugués corticeira) o *Peltogyne* (palo morado) cuya característica madera violácea resulta del acúmulo de flavonoides en el duramen.

## Forrajeras

Muchas de las leguminosas herbáceas más conocidas tienen uso forrajero o pratense (*Medicago* spp., *Onobrychis viciifolia* Scop., *Trifolium* spp., *Vicia*

spp.), incluso se cultivan (*Medicago sativa* L. –alfalfa–, *Onobrychis viciifolia* –espartina–).

### **Biocombustibles**

Actualmente algunas leguminosas, como la soja, se cultivan para la elaboración de biodiesel, con un rendimiento de 840 litros por hectárea/año. Las semillas por su alto valor proteico (cerca al 35%) se utilizan también en alimentación y para la producción de aceite.

### **Medicinales**

*Abrus precatorius* L. se utiliza en medicina tradicional, y las hojas y las raíces se han empleado para endulzar alimentos. Aunque las hojas y las raíces son relativamente no tóxicas, las semillas contienen la glicoproteína “abrina”, una de las más potentes de todas las toxinas botánicas conocidas. Sus semillas son de forma y color llamativo, y se usan como cuentas de collares y colgantes exóticos, pero son tan tóxicas que incluso sin ser comidas ya han causado alguna intoxicación grave.

### **Ornamentales**

*Cercis siliquastrum* L. llegó a Europa en la época de las cruzadas y su primer destino fue Francia. Desde allí se extendió por Europa en poco tiempo. Se dice que en este árbol se ahorcó Judas después de traicionar a Cristo, por ello se le da el nombre de árbol de Judas, que probablemente sea una corrupción del nombre común en francés "Arbre de Judée" refiriéndose a la región de donde procede. Se encuentra muy frecuente como árbol de jardinería.

### **Otras curiosidades**

Algunas especies de acacias poseen un sistema de defensa que no se conoce en ningún otro vegetal. En los grupos de individuos que se encuentran en contacto uno con otro, si un individuo es atacado por un animal que come sus hojas, la planta reacciona químicamente liberando sustancias de transferencia aérea que llegan a las otras plantas «dando la alarma». Inmediatamente el resto de los ejemplares del grupo comienzan a segregar en sus hojas una sustancia tóxica, que hace cambiar el color, oscureciéndose, y que es tóxica por contacto e ingestión y en ocasiones llega a ser mortal para el animal. Esta reacción es temporal, pero es conveniente evitar estas especies en el ámbito de la jardinería, para evitar estos efectos sobre animales domésticos y personas.



### Fabaceae en la Flora Ibérica

De acuerdo con la monografía de la familia en Flora Ibérica están presentes 56 géneros y 513 especies –lo que incluye los taxones exóticos naturalizados. De ellos 36 géneros y 154 especies viven en la provincia de León. (Talavera *et al.* 1999; **Tabla 1**).

**Tabla 1.** Resumen de Fabaceae en la Península Ibérica: subfamilias, tribus y géneros nativos y exóticos (resaltados con \*) basada en Talavera *et al.* (1999).

MIMOSOIDEAE*	Astragaleae
Acacieae*	<i>Galega</i>
<i>Acacia</i> *	<i>Colutea</i>
CESALPINIOIDEAE*	<i>Astragalus</i>
Cesalpinieae*	<i>Oxytropis</i>
<i>Gleditsia</i> *	<i>Erophaca</i>
Cassieae*	<i>Glycyrrhiza</i>
<i>Ceratonia</i> *	Psoraleae
PAPILIONOIDEAE	<i>Bituminaria</i>
Sophoreae*	<i>Cullen</i>
<i>Sophora</i> *	Fabeae
Thermopsidaeae	<i>Vicia</i>
<i>Anagyris</i>	<i>Lens</i>
<i>Argyrolobium</i>	<i>Lathyrus</i>
<i>Cytiseae</i>	<i>Pisum</i>
<i>Genista</i>	Ononideae
<i>Echinopartum</i>	<i>Ononis</i>
<i>Chamaespartium</i>	Trifolieae
<i>Pterospartum</i>	<i>Trifolium</i>
<i>Retama</i>	<i>Melilotus</i>
<i>Teline</i>	<i>Trigonella</i>
<i>Cytisus</i>	<i>Medicago</i>
<i>Calicotome</i>	Loteae
<i>Adenocarpus</i>	<i>Lotus</i>
<i>Spartium</i>	<i>Dorycnium</i>
<i>Erinacea</i>	<i>Tetragonolobus</i>
<i>Ulex</i>	<i>Anthyllis</i>
<i>Stauracanthus</i>	<i>Dorycnopsis</i>
<i>Cytisophyllum</i>	<i>Tripodion</i>
<i>Laburnum</i>	<i>Hymenocarpus</i>
<i>Lupinus</i>	<i>Ornithopus</i>
<i>Crotalariaeae</i>	Coronilleae
<i>Lotononis</i>	<i>Coronilla</i>
Robinieae*	<i>Securigera</i>
<i>Robinia</i> *	<i>Emerus</i>
	<i>Hippocrepis</i>
	<i>Scorpiurus</i>
	<i>Hedysareae</i>
	<i>Hedysarum</i>
	<i>Onobrychis</i>

## Bibliografía

- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141: 399–436. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x.
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1-20. DOI: 10.1111/boj.12385.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University press. New York. Estados Unidos.
- Candolle, A.P. 1824–1873. *Prodromus systemati naturalis regni vegetabilis sive enumeratio contracta ordinum, generum specierumque plantarum huc usque cognitarum, juxta methodi naturalis normas digesta*. París, Francia.
- Engler, A. y Prantl, K. -eds.- 1887–1915. *Die Natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten, insbesondere den Nutzpflanzen, unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten* (en alemán). 33 partes (Abteilungen) in 23 volumenos. W. Engelmann. Leipzig, Alemania.
- FAO 2016. *2016 Año Internacionnal de las legumbres. Semillas nutritivas para un futuro sostenible*. URL: <http://www.fao.org/pulses-2016/es/> [consultado el 15 de junio de 2016].
- ILDIS. 2005. World Database of Legumes (v.10, November) using the LegumeWeb on-line database search service. URL: <http://www.ildis.org/> [consultado el 30.May.2016].
- Jussieu, A.L. 1789. *Genera Plantarum secundum ordines naturales disposita. Viduam Herissant*. París, Francia.
- Koenen, E.J.M., de Vos, J.M., Atchison, G.W., Simon, M.F., Schrire, B.D., de Souza, E.R, de Queiroz, L.P. y Hughes, C.E. 2013. Exploring the tempo of species diversification in legumes. *South African Journal of Botany*, 89: 19-30. Doi:10.1016/j.sajb.2013.07.005.
- Lewis, G.P., Schrire, B.D., Mackinder, B. y Lock, M. 2005. *Legumes of the World*, Royal Botanic Gardens. Kew, UK.
- Lewis, G.P., Schrire, B.D., Mackinder, B.A., Rico, L. y Clark, R. 2013. A linear sequence of legume genera set in a phylogenetic context – a tool for collections management and taxon sampling. *South African Journal of Botany*, 89: 76–84. Doi:10.1016/j.sajb.2013.06.005.

- Linneo, C. 1753. *Species Plantarum* ed. 1. Holmiae.
- LOWO 2016. *Legumes of the World Online*. URL: <http://www.kew.org/science-conservation/research-data/resources/legumes-of-the-world/search> [Consultado el 15 de mayo de 2016].
- LPWG [Legume Phylogeny Working Group]. 2013a. Legume phylogeny and classification in the 21st century: progress, prospects and lessons for other species-rich clades. *Taxon*, 62: 217–248. DOI: 10.12705/622.8.
- LPWG. [Legume Phylogeny Working Group]. 2013b. Towards a new classification system for legumes: Progress report from the 6th International Legume Conference. *South African Journal of Botany*, 89: 3-9.
- Maddison, D.R. y Schulz, K.S. -Eds.- 2007. *The Tree of Life Web Project*. <http://tolweb.org>.
- Polhill, R.M. y, Raven, P.H. -Eds.- 1981. *Advances in Legume Systematics 1*. Royal Botanic Gardens. Kew, UK.
- Talavera, S., Aedo, C., Castroviejo, S., Romero, C., Sáez, L., Salgueiro, F.J. y Velayos, M. 1999. *LXXXVIII Leguminosae*. In Castroviejo S., Flora Ibérica. Vol. 7 (1&2). Real jardín Botánico de Madrid. CSIC. Madrid, España.
- Van Wyk, B.E. y Boatwright, J.S. 2013. Advances in legume systematics 12. *South African Journal of Botany*, 89: 1-2. doi:10.1016/j.sajb.2013.08.001.
- Wojciechowski, M.F. Mahn, J. y Jones, B. 2006. Fabaceae - Legumes. Version 14 June 2006. <http://tolweb.org/Fabaceae/21093/2006.06.14> en *The Tree of Life Web Project*, <http://tolweb.org/>.



**Félix Llamas.** Licenciado en Ciencias Biológicas (1975) por la Universidad de Oviedo y Doctor (1980) por la Universidad de León. Especializado en Taxonomía Vegetal. Desde 1987 es Profesor Titular de Botánica, actualmente en el Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales (Universidad de León). Ha sido Director del Departamento de Biología Vegetal, y Director del Secretariado de Relaciones Internacionales para Europa y América del Norte. Sus trabajos de investigación más relevantes se orientan al estudio de la Taxonomía y Filogenia Vegetal, así como a las plantas amenazadas y las plantas invasoras.

Ha publicado 150 artículos, ha dirigido 6 tesis doctorales y participado en 55 proyectos o contratos de I+D con empresas y administraciones. Medalla de Oro de la Sociedad Asturiana de Fitoterapia.



**Carmen Acedo** coordina los grupos de investigación Taxonomía y Conservación Vegetal TaCoVe y de innovación docente de la ULE ACBoSCo (centrado en el aprendizaje activo). Especializada en taxonomía vegetal desde la formación doctoral (ULE, 1995). Su actividad científica aborda dos aspectos principales: sistemática, filogenia y evolución de plantas en diferentes niveles taxonómicos y mediante técnicas tradicionales y moleculares, estudiando cómo las especies de plantas están relacionada entre sí y como se distinguen, por su apariencia y ADN, particularmente en la familia Poaceae (también Cyperaceae, Orchidaceae, Fagaceae y otros grupos), de la que actualmente investiga su taxonomía (nombrando y clasificando plantas) y evolución (estudiando cómo las especies de plantas están relacionados entre sí) la conservación y gestión vegetal (estudiando especies amenazadas, y las causas de riesgo). Entre sus objetivos profesionales, destacan en este momento la innovación docente para la formación de alumnos de Grado, Master y Doctorado y su participación como investigadora en el proyectos nacional Flora Ibérica X, y coordina el equipo de Castilla y León que desarrolla el seguimiento de flora amenazada SEFA (AFA-5).

## PONIENDO EN CLARO

### ”Magnificación” ¿una solución a la producción de anticuerpos recombinantes en situaciones de epidemia/pandemia?

Iris Asensio García<sup>1</sup>, María Luz Centeno Martín<sup>2</sup>

1. Graduada en Biotecnología. Trabajo Fin de Grado 2013-2014. Universidad de León.
2. Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Área de Fisiología Vegetal, Universidad de León.

Ciertas situaciones de emergencia, como la provocada por el último brote epidémico del virus del Ébola, crean la necesidad de producir, rápidamente y a gran escala, antígenos y anticuerpos útiles en la elaboración de vacunas. La Biotecnología cuenta con varios sistemas de producción de proteínas recombinantes, pero no todos son capaces de responder eficientemente a ese tipo de demandas. Una buena alternativa es el empleo de las plantas como biofactorías. Existen varios métodos para lograr la expresión heteróloga de proteínas en plantas, desde los utilizados para obtener plantas transgénicas, hasta la infección con vectores virales que da lugar a elevados niveles de expresión transitoria. Uno de ellos es la “magnificación” (de *magnifaction*), que combina el uso de vectores virales deconstruidos, y clonados entre los bordes derecho e izquierdo del T-ADN de una cepa de *Agrobacterium*, con la agroinfiltración realizada a escala industrial en plantas cultivadas en invernadero. Proporciona rendimientos de producción de hasta 5 g de proteína recombinante por kg de biomasa en solo 4-10 días. La metodología se ha aplicado para obtener los anticuerpos de “ZMapp”, el suero que ha dado buenos resultados en el tratamiento de infecciones por el virus del Ébola en humanos, así como otras proteínas de interés terapéutico.

**Palabras clave:** agricultura molecular, agroinfiltración, vectores virales deconstruidos, “ZMapp”, planta biofactoría.

### Introducción

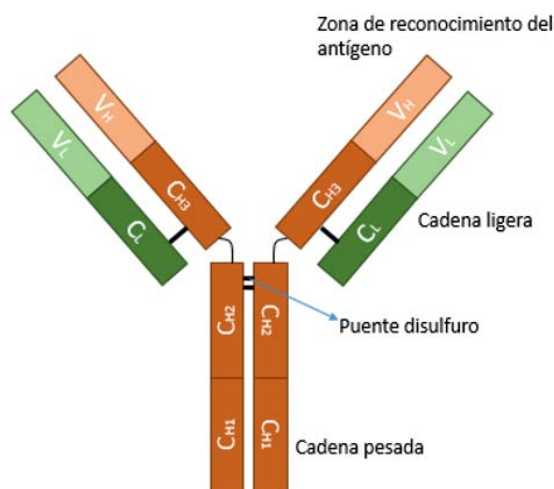
La producción de vacunas por parte de las empresas farmacéuticas debe cubrir la demanda mundial continua y, además, demandas puntuales y urgentes que se producen como consecuencia de situaciones de emergencia o de brotes epidémicos, como sucedió con la expansión del virus de la inmunodeficiencia adquirida en los noventa, el brote de gripe aviar en el año 2005, o el brote del virus del Ébola en 2014. La respuesta a estas últimas ha de ser rápida y dar lugar a un suministro de las terapias farmacológicas necesarias para sofocar el brote en el menor tiempo posible. En los casos más graves los fármacos deben producirse,

Forma de mencionar este artículo: Asensio, I., Centeno, M.L., 2016, “Magnificación” ¿una solución a la producción de anticuerpos recombinantes en situaciones de epidemia/pandemia? AmbioCiencias, 14, 19-39. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

además, a gran escala. También hay que considerar que los sectores de población normalmente más afectados y que sufren con mayor virulencia estas situaciones pertenecen a países en vías de desarrollo, por lo que sus recursos económicos a la hora de adquirir los tratamientos son limitados. Por lo tanto, la capacidad de producir mucho, rápido y barato tiene suma relevancia en la producción industrial de vacunas bajo estas situaciones concretas.

Los anticuerpos y antígenos que forman parte de las vacunas pueden producirse por métodos biotecnológicos. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de la tecnología del ADN recombinante, de la genómica y de la proteómica, que han permitido conocer la estructura de los genes, su función y la de sus productos proteicos, así como manipular el genoma de los organismos. Hoy en día se pueden sintetizar proteínas a partir de organismos distintos a aquellos de los que proceden, en mayores cantidades que en su ambiente natural, e incluso mejorar sus propiedades. Estas proteínas, conocidas como recombinantes, ofrecen multitud de posibilidades y aplicaciones en diferentes ámbitos, entre ellos el clínico.

La Biotecnología se puede servir de diversos sistemas de expresión para producir proteínas recombinantes. Estos se definen como sistemas formados por un organismo hospedador y un vector de expresión o fragmento de ADN que aporta la información que se quiere incluir y expresar en el primero. Los investigadores se afanan en desarrollar el sistema de expresión más eficiente y de menor coste para la producción de proteínas en cada situación (Xu *et al.*, 2012). Una de las cuestiones a considerar en el caso de los anticuerpos recombinantes es su complejidad química y estructural, pues son glicoproteínas oligoméricas, con regiones conservadas y otras variables, patrones de glicosilación complejos, y cuya correcta configuración es fundamental para la función de reconocimiento del antígeno (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Estructura de un anticuerpo (inmunoglobulina G). La proteína funcional está formada por dos subunidades idénticas unidas por puentes disulfuro. Cada subunidad contiene una cadena pesada ( $C_H$ ) y otra ligera ( $C_L$ ). Ambas poseen regiones altamente conservadas (C) y una región variable (V). Las regiones variables constituyen las zonas de reconocimiento del antígeno.

El empleo de las plantas como sistemas de expresión es conocido como *plant molecular farming* o agricultura molecular. Consiste en la obtención, por medio de ingeniería genética, y cultivo en campo o invernadero de plantas modificadas con el fin de producir proteínas recombinantes con diferentes aplicaciones, entre ellas las de valor terapéutico (Obembe *et al.*, 2011). También se suele incluir en la definición el cultivo de células de plantas genéticamente modificadas para los mismos fines productivos. En cualquier caso, el objetivo es conseguir que las células de plantas actúen como biorreactores.

La agricultura molecular es una plataforma de producción conocida pero no explotada en todas sus posibilidades (Xu *et al.*, 2012). Frente a otros sistemas de producción, como los representados por el cultivo de bacterias en fermentadores, el cultivo de levaduras o el de células animales (insecto, ratón, etc.), presenta las siguientes ventajas para producir proteínas recombinantes:

- 1) Es más biosegura, pues minimiza los riesgos de contaminación con patógenos humanos o animales. Las plantas no son susceptibles de ser infectadas por virus animales, por lo que no actúan como sus vectores de transmisión, ni tampoco los virus de plantas se transmiten ni afectan al ser humano.
- 2) Es muy ventajosa desde el punto de vista del almacenamiento y la distribución.
- 3) La tecnología necesaria para cosechar y procesar las plantas y sus productos a escala industrial está disponible. Además, los sistemas de producción agrícola son más económicos que los de cultivos celulares en fermentadores, entre otras cosas porque emplean el sol como fuente de energía y no se necesitan infraestructuras tan caras. Como consecuencia, el escalado también es más sencillo y requiere menos costes.
- 4) Las plantas cuentan con un sistema endomembranoso y una vía secretora similares a los de células de mamíferos, por lo que las proteínas producidas son sometidas a las modificaciones postraduccionales pertinentes y a un plegamiento eficiente, gracias a que las chaperonas que poseen son homólogas a las presentes en las células humanas (Vitale y Pedrazzini, 2005).

Por lo tanto, las plantas y sus cultivos celulares pueden representar una buena opción para producir antígenos y anticuerpos recombinantes útiles en la elaboración de vacunas, y dar respuesta a los retos que plantea una demanda urgente y masiva de éstos. Los anticuerpos producidos biotecnológicamente en plantas se conocen como planticuerpos (Loza-Rubio y Gómez-Lim, 2006).

## Métodos de producción de planticuerpos anteriores a la “magnifeción”

La producción de proteínas recombinantes en plantas puede derivar de la expresión estable o transitoria de los genes foráneos. La primera implica que los genes se han integrado de manera estable en el genoma nuclear de las células, logrando que la información incorporada sea heredada por las siguientes progenies (Chen, 2008; García, 2010). Por lo tanto, la expresión estable interesa cuando el objetivo de la modificación es que el carácter determinado por la proteína se transmita a la descendencia. Es el caso de las plantas transgénicas obtenidas en el marco de programas de mejora genética de cultivos, p. e. el maíz Bt resistente a la plaga del taladro europeo. El método más eficiente para realizar estas modificaciones estables es la transformación genética nuclear o de los cloroplastos mediada por *Agrobacterium tumefaciens*.

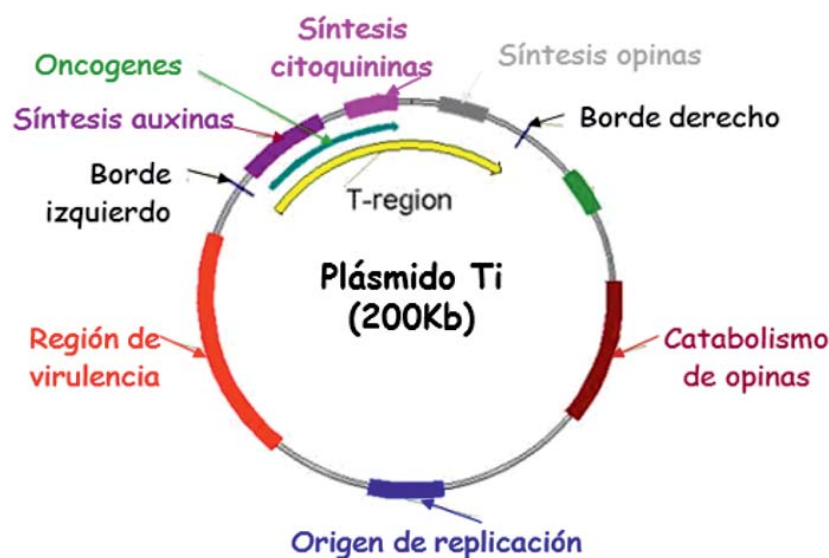
La expresión transitoria da lugar a la síntesis de la proteína en las células que incorporan el transgén durante cierto tiempo, pero se acaba perdiendo porque el gen no se integra en el genoma, de modo que el nuevo carácter no se transmite a la descendencia. Este es el tipo de expresión resultante de las modificaciones llevadas a cabo por vectores virales. El nivel de expresión y el rendimiento de producción son bastante mayores que los obtenidos con la expresión estable, característica que resulta de sumo interés en la producción rápida y a gran escala de planticuerpos.

**a) La transformación genética nuclear de plantas mediada por *Agrobacterium tumefaciens*** es un proceso natural por el cual la bacteria es capaz de transferir un fragmento de ADN de su plásmido Ti (*Tumor induction*; **Fig. 2**), denominado T-ADN, a las células infectadas. El T-ADN contiene genes que codifican para enzimas de síntesis de hormonas de plantas (oncogenes) y de opinas, aminoácidos utilizados por la bacteria como fuente de carbono, nitrógeno y energía. La integración de estos genes en el genoma de la planta y su expresión causan sobre-síntesis de hormonas que promueven la proliferación celular, lo que origina tumores en la planta. Los tumores producen opinas que mantienen el crecimiento de las bacterias en la rizosfera. El plásmido Ti posee también una región de virulencia con los genes *vir*, encargados de la infección bacteriana y de la transferencia del T-ADN (Nester, 2015).

Los genes situados entre los bordes derecho e izquierdo del T-ADN no son necesarios en el proceso de infección y transferencia génica, de modo que se pueden reemplazar por otros, obteniéndose así un vector de transformación. Se



trata de un plásmido Ti de menor tamaño, modificado por ingeniería genética, y desarmado (sin oncogenes), pero con todos los elementos necesarios para realizar los procesos de infección, transferencia e integración del T-ADN (Gelvin, 2003; Nester, 2015). Contiene un origen de replicación y un gen de selección de bacterias, la región de virulencia y los bordes derecho e izquierdo del T-ADN. Entre éstos se pueden incluir un gen foráneo de interés y un gen de selección de células de plantas transformadas. Las secuencias reguladoras de los genes incluidos en el T-ADN deben ser reconocidas por las células eucariotas para que se expresen en planta (Gelvin, 2003). Sus promotores pueden ser constitutivos, o específicos si se desea dirigir la expresión del transgén a un órgano determinado o inducirse bajo ciertas condiciones. Incluso se puede incorporar a la construcción secuencias marcadoras de la vía secretora, para que la proteína se acumule en un orgánulo concreto o sea vertida al apoplasto, de donde se podrá extraer con mayor facilidad (Gleba *et al.*, 2005).



**Figura 2.** Estructura y componentes del plásmido Ti.

A pesar de ser una metodología bastante desarrollada, la transformación nuclear mediada por cepas modificadas de *Agrobacterium* no representa una herramienta adecuada para producir planticuerpos a nivel industrial. En primer lugar supone, además de la elaboración y clonación de los vectores, la puesta a punto de los protocolos de transformación y regeneración *in vitro* de las plantas transgénicas, así como la selección de aquellas que realmente muestran transformación estable. Estos procesos pueden retrasar de 18 a 24 meses la producción de los primeros 100 mg de proteína, demasiado tiempo para responder a una

situación de gran demanda a corto plazo (vacunas para epidemias) (Gleba *et al.*, 2005). Por otro lado, el rendimiento de producción, definido como el porcentaje de proteína recombinante respecto al total de proteína soluble de la planta, es bajo (0,1-0,5%). Esto se debe a que solo entre el 5 y el 9% de las copias del transgén transferidas por *Agrobacterium* se integran en los cromosomas y son expresadas de manera correcta en plantas.

El problema del bajo rendimiento podría resolverse modificando el genoma de los cloroplastos, no el nuclear. Gracias a que cada cloroplasto contiene unas 100 copias de su genoma y cada célula de mesófilo foliar tiene unos 100 cloroplastos, las posibilidades de integración del transgén aumentarían en gran medida y con ello el rendimiento (Maliga, 2004). Sin embargo, los cloroplastos no tienen sistemas de modificación postraduccional, por lo que las proteínas recombinantes formadas no son siempre funcionales, e incluso pueden agregarse formando cuerpos proteicos complicando los procesos de extracción y purificación (Gleba *et al.*, 2005). Por otro lado, la metodología es igual de lenta que la transformación nuclear, haciendo de nuevo imposible el escalado industrial de la producción en poco tiempo.

**b) La agroinfiltración** es otra metodología útil en la producción de proteínas recombinantes en plantas que explota la expresión transitoria. Se sirve también de *Agrobacterium* como vehículo para introducir el transgén en las células, pero la cepa recombinante se infiltra en la planta, principalmente en las hojas. Puede realizarse manualmente, de forma local y directa (**Fig. 3**), o bien utilizando una cámara de vacío. En ese caso, las hojas se sumergen en una solución con la cepa de *A. tumefaciens* tras sacar de ellas el aire por vacío. Se aplica entonces una presión para que los espacios intersticiales se rellenen con la solución. Una vez allí, *Agrobacterium* infecta y transfiere el gen de interés a las células de las hojas en un número muy elevado de copias, y aunque el porcentaje de las que se integran en el genoma es bajo (5-9%), casi todas acceden al núcleo y se expresan de forma transitoria.

La expresión mayoritariamente transitoria del transgén se aprovecha para producir altas cantidades de proteína en poco tiempo por varios motivos: (i) la síntesis se inicia a los 3-4 días de la agroinfiltración, (ii) no es necesaria la regeneración *in vitro* de plantas, pues el objetivo no es obtener una planta transgénica con un nuevo carácter heredable, y (iii) tampoco se requiere seleccionar las células transformadas (Grimsley *et al.*, 1986). Estas tres características de la agroinfiltración acortan enormemente el proceso de producción. Además, la agroin-

filtración sigue siendo un método muy versátil por conservar la elevada infectividad de *Agrobacterium*. Pero su principal valor radica en su potencial de escalabilidad, ya que la infiltración al vacío puede hacerse simultáneamente en un gran número de plantas y en poco tiempo.

**Figura 3.** Metodología de agroinfiltración manual. Primero se



hiere la hoja superficialmente por abrasión. Después, y empleando una jeringuilla, se aplica por presión la solución de la cepa de *Agrobacterium* modificada, que entra a través de los espacios intercelulares (tomado de Chen *et al.*, 2013).

**c) Los vectores virales** constituyen otros de los sistemas que explotan la expresión transitoria de genes foráneos en plantas. Representan una excelente alternativa en la producción industrial de proteínas recombinantes (Gleba *et al.*, 2004), dado que los vectores virales poseen ventajas como su velocidad de expresión, el alto rendimiento y la reducción de los costes (Gleba *et al.*, 2007).

Los vectores virales de primera generación o *full virus* son virus funcionales de plantas que se comportan como los virus silvestres (wt), manteniendo todas sus características, a saber: capacidad de infectividad, replicación de los ácidos nucleicos, traducción de sus proteínas, movimiento sistémico dentro del hospedador, ensamblaje y producción de viriones maduros, reprogramación de los procesos de biosíntesis, y supresión del silenciamiento génico. La diferencia con los virus originales radica en que se modifica su genoma para que expresen la secuencia heteróloga exógena (Gleba *et al.*, 2004). Los más utilizados son el virus del mosaico de la coliflor (CaMV), que es un virus ADN de doble cadena, y algunos virus cuyo genoma está representado por una hebra simple de ARN, como el del mosaico del tabaco (TMV) y el virus X de la patata (PVX). En los vectores virales, el gen foráneo se incluye bajo el control de un promotor fuerte, por lo general el de las proteínas de la cápsida del propio virus (CP). Al cabo de 2-3 semanas de realizar la infección de la planta, el vector ha accedido a los distintos órganos y células donde el gen se expresa de forma transitoria (Gleba *et al.*, 2004).

El principal potencial de los vectores virales radica en su capacidad para replicarse de manera autónoma, lo que permite amplificar miles de veces la

expresión transitoria del transgén en relación a otros sistemas como la agroinfiltración. Si además se tiene en cuenta la propagación sistémica de los virus, es fácil entender que el rendimiento en la producción de proteínas recombinantes sea mayor. Sin embargo, su empleo presenta limitaciones:

- 1) Su infectividad es baja porque suelen ser especie-específicos.
- 2) Aunque son vectores sistémicos, no son capaces de infectar toda la planta (rara vez infectan las hojas inferiores) y su propagación es asincrónica.
- 3) La infección sistémica es un proceso relativamente lento que deja tiempo a la planta para activar sus defensas.

Se obtienen rendimientos aceptables pero sólo para proteínas de bajo peso molecular. De hecho, se ha probado que existe una correlación negativa entre el tamaño del inserto (máximo 1 Kb) y la estabilidad del vector viral para TMV y PVX (Gleba *et al.*, 2007). Para resolver este problema se diseñaron vectores virales modificados en los que se eliminaron los genes para CP, lo que permitió disponer de mayor espacio para incluir transgenes mayores.

**d)** Parte de las limitaciones de los primeros **vectores virales modificados** se pudieron superar mediante su empleo **combinado con la agroinfiltración** (Gleba *et al.*, 2007). La nueva metodología pasaba por incluir en el T-ADN de cepas de *Agrobacterium* vectores basados en virus ARN modificados, sin los genes CP, en forma de cADNs recombinantes. De este modo la entrada y liberación del vector viral se realizaría por agroinfiltración, aprovechando así también la elevada infectividad de la bacteria (Chen y Lai, 2013). En los primeros intentos, realizados con vectores virales basados en el virus TMV, modificados y clonados en el T-ADN de *Agrobacterium*, se obtuvieron eficiencias de infección muy bajas (1 por cada 10<sup>8</sup> bacterias inoculadas) (Gleba *et al.*, 2007). El mal resultado estuvo relacionado con la liberación del primer genoma viral en el núcleo de las células infectadas. Esto representaba una etapa artificial en el ciclo de vida del TMV ya que su ARN es citoplasmático, por lo que no entra en el núcleo celular y no se procesa con la maquinaria del ARN nuclear (Chung *et al.*, 2006). De hecho, el análisis de genomas virales demostró que las secuencias codificadoras de muchas de las regiones de ese ARN pueden ser reconocidas como anómalas por dicha maquinaria. Por lo tanto, el vector representado por una copia simple de ARNm del virus en el núcleo celular posiblemente se degradaba antes de llegar al citoplasma.

Por consiguiente, tampoco la sustitución del movimiento sistémico de los vectores virales por la agroinfiltración resultó ser un método del todo adecuado

para dar respuesta a demandas grandes y urgentes de anticuerpos recombinantes. A partir de este punto, los investigadores se centraron en el desarrollo de nuevos vectores y de sistemas de liberación del transgén más eficientes.

### “Magnifeción”

La “magnifeción” es el método de expresión transitoria de proteínas heterólogas en plantas que combina el empleo de vectores virales deconstruidos (de *deconstructed virus*) o de 2ª generación, con la agroinfiltración mecánica e industrial de la plantas (Gleba et al., 2005). Fue desarrollado por el grupo liderado por Sylvestre Marillonnet para Icon Genetics (Marillonnet *et al.*, 2004). Estos investigadores abordaron la cuestión de los bajos niveles de infectividad de los vectores virales trabajando con modificaciones genéticas del virus TMV (sin los genes para CP), e introduciendo un nuevo protocolo para mejorar su liberación en múltiples áreas de la planta (Marillonnet *et al.*, 2005).

La idea inicial para obtener los **vectores virales deconstruidos** consistió en eliminar secuencias que regulaban funciones del virus TMV modificado que no eran necesarias en el proceso de agroinfiltración (Gleba *et al.*, 2004; Gleba *et al.*, 2007). Así se obtenía más espacio para introducir genes de interés de mayor tamaño. Si la eliminación de esas secuencias ocasionara alguna deficiencia en las funciones virales que sí eran necesarias para la expresión heteróloga, éstas podrían delegarse en funciones complementadas en *trans* del hospedador o ser sustituidas por funciones análogas procedentes de fuentes no virales. Partiendo de esas premisas, los investigadores hicieron nuevas modificaciones en los vectores virales:

- 1) Identificaron secuencias que podían ser el origen de la inducción del procesamiento indeseado del ARNm vírico en el núcleo de las células infectadas. Eliminando algunos puntos de procesamiento y aumentando el % GC obtuvieron una mayor eficiencia en células infectadas (Chung *et al.*, 2006).
- 2) Estudiaron la posibilidad de que el gran tamaño del ARNm vírico pudiera afectar a la eficacia de su exportación al citoplasma dado que la maquinaria del hospedador trabaja habitualmente con transcritos más cortos. Para permitir la salida del ARN viral al citoplasma se añadieron varios intrones en la secuencia génica viral introducida (Chung *et al.*, 2006).

El grupo de Marillonnet comprobó que con el empleo de los nuevos virus deconstruidos, y su entrega a modo de precursores de ADN por *Agrobacterium*,

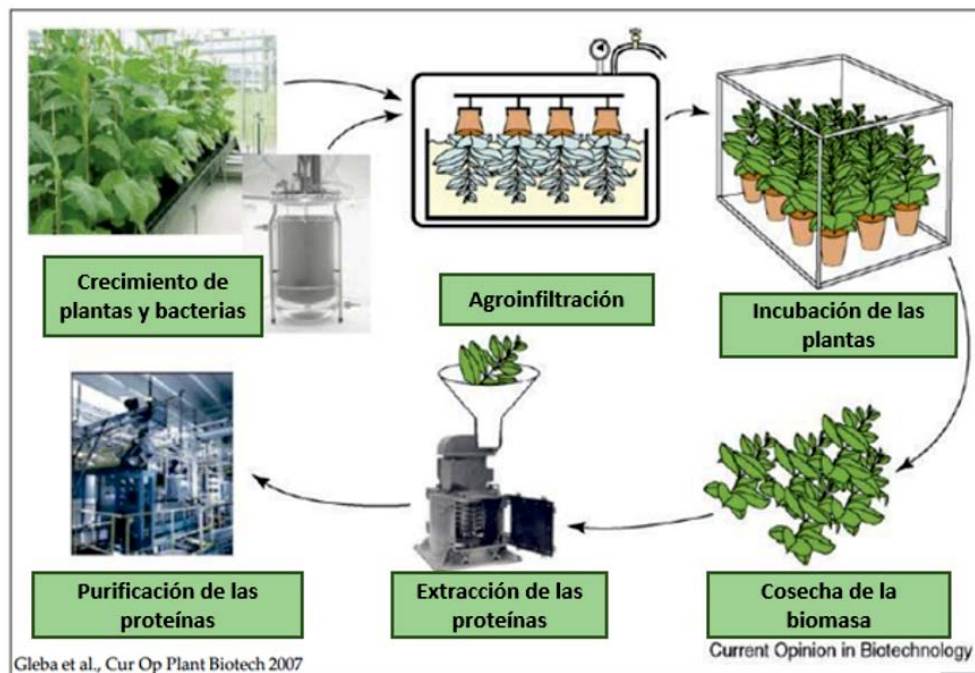
se conseguía el procesamiento eficaz de la información contenida en los replicones virales activos en casi todas las células de la planta infectadas (>93%). También, que los nuevos vectores mejoraban los eventos de infección (1 de cada 10-20 bacterias infiltradas iniciaba un proceso de infección viral). La eficiencia fue  $10^3$  y  $10^7$  veces mayor que la conseguida, respectivamente, con infecciones directas con vectores virales y con vectores de 1ª generación modificados y agroinfiltrados. Este incremento permite utilizar suspensiones de *Agrobacterium* más diluidas, reduciendo el tiempo necesario para obtenerlas, así como su coste. Por último, como el vector viral carece del gen de la cápsida proteica, puede contener y expresar insertos génicos de hasta 2,3 kb (Marillonnet *et al.*, 2005).

Por lo tanto, la “magnificación” consiste en infiltrar la totalidad de la planta con una o varias suspensiones de *Agrobacterium* portadoras de los T-ADNs que codificarán para los replicones virales en forma de ADNc; la técnica combina funciones y ventajas de **3 sistemas biológicos**:

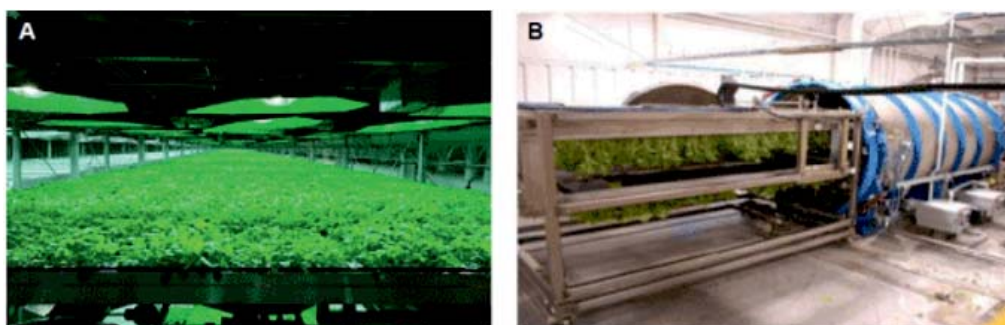
- El vector viral deconstruido: destaca por su capacidad para replicarse y amplificar el transgén, lo que proporciona niveles de expresión muy elevados, y se encarga de la propagación célula-célula (distancia corta). Por otro lado, el hecho de entregar la información en forma de precursores de ADN en lugar de ARN, evita los problemas asociados a su procesamiento en el núcleo.
- *Agrobacterium*: asume las funciones de infección primaria y de circulación sistémica, gracias a su elevada infectividad y a su capacidad para liberar y distribuir el vector viral en la planta.
- Planta: además de su bajo coste, realiza un procesamiento postraducciona l correcto, por lo que produce proteínas recombinantes complejas y funcionales. Las proteínas se forman sobre todo en las hojas, que representan la parte mayoritaria de la biomasa de la planta, lo que permite obtener elevados rendimientos. Aunque la infiltración se ha llevado a cabo en varias especies, las mayores eficiencias se han logrado en *Nicotiana benthamiana* (Wylie *et al.*, 2015). Son plantas con crecimiento muy vigoroso, gran superficie foliar y muy susceptibles a las infecciones víricas. Se cultivan en invernadero (**Fig. 4**) y se pueden cosechar varias veces al año, proporcionando más de 50 toneladas de biomasa/ha. año, frente a producciones de 6 toneladas en trigo, arroz o maíz.

El sistema de Marillonnet ofrecía un protocolo para la expresión de proteínas heterólogas en plantas sencillo y escalable que se podía prolongar indefinida-

mente en el tiempo (Gleba *et al.*, 2005). Pero su escalado industrial requería la agroinfiltración en muchas plantas y superar el problema que planteaba voltearlas durante su inmersión en la suspensión de *Agrobacterium*. Para automatizar el proceso a gran escala se desarrolló un túnel de vacío y rociado (**Fig. 5B**) (Chen *et al.*, 2013).



**Figura 4.** Escalado del proceso de “magnificación”. El proceso implica: a) cultivo de *N. benthamiana* en invernadero y de las bacterias en fermentadores; b) inmersión de las plantas en la suspensión de bacterias para realizar la agroinfiltración; c) Incubación en entorno limitado durante 4-10 días (periodo de infección y de expresión del transgén); d) cosecha de las hojas de las plantas; e, f) extracción y purificación de la proteína recombinante (tomado de Gleba *et al.*, 2007).



**Figura 5.** Crecimiento (A) y agroinfiltración a escala industrial de *N. benthamiana* (B). Fotografías de Bratcher B (Kentucky Bioprocessing) (tomada de Chen *et al.*, 2013).

La “magnificación” a escala industrial permite producir planticuerpos, útiles en la elaboración de vacunas, de manera rápida, económica y en grandes cantidades, con las siguientes **ventajas** frente a los métodos anteriores:

1) Ofrece mayor rapidez de escalado de la producción (Gleba *et al.*, 2005). Los procesos industriales se pueden realizar en menos de 10 días. En 3-4 semanas se producen cantidades de proteína recombinante de mg, e incluso de g, y es posible obtener hasta 100 Kg de proteína en menos de un año. La mayor limitación está representada por el diseño y la obtención de los vectores.

2) Proporciona los mayores rendimientos, tal como demuestran los siguientes valores máximos: hasta 5 g de proteína recombinante por Kg de biomasa foliar, 80% de la proteína soluble total, o 500 kg de proteína recombinante por hectárea de invernadero al año (Gleba *et al.*, 2005) (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Comparativa de rendimientos (% de proteína recombinante respecto a la proteína soluble total, excepto en\*) y velocidades de producción de los sistemas de expresión de proteínas recombinantes en plantas. Pf: peso fresco.

Sistema de expresión	Rendimiento	Velocidad
Transformación nuclear mediada por <i>A. tumefaciens</i>	0,1-0,5%	18-24 meses
Transformación cloroplastos	25%	12-18 meses
Agroinfiltración *	50 mg proteína/100 Kg Pf	3-4 días tras la infiltración
Vectores virales 1ª generación	20%	2-3 semanas
“Magnificación”	80%	4-10 días

3) El proceso es relativamente económico pues se necesitan materiales baratos (las plantas y poca cantidad de biomasa bacteriana), se pueden sincronizar todas las operaciones abaratando los costes del trabajo, y los costes de purificación de la proteína recombinante son más baratos dada la elevada producción. Se estima que para un rendimiento de 0,8 g proteína/Kg de biomasa fresca, el coste de producción es menor de 1\$ por g de proteína cruda, y el de purificación menor de 50\$ por g (Gleba *et al.*, 2005).

4) Es una tecnología versátil, pues se ha demostrado su eficacia en la producción de diversos tipos de proteínas. Algunos rendimientos (gramos de proteína/Kg biomasa) son: 1,2 de somatotropina, 5,1 de interferón alfa, 5,4 de varios antígenos bacterianos y 0,4-1,5 para diferentes anticuerpos cadena simple.

5) Bioseguridad. La “magnificación” se realiza sobre plantas cultivadas en contenedor e invernaderos con bloqueos de seguridad, lo que minimiza las pro-



babilidades de liberación de las células modificadas de *Agrobacterium* al ambiente. Tampoco los vectores virales suponen riesgos para otros cultivos y especies vegetales, ya que al tratarse de virus deconstruidos no es posible que puedan revertir al silvestre. Además, el uso de *Nicotiana*, una planta de uso no alimentario, mitiga aún más los problemas de bioseguridad.

A pesar de sus ventajas, la “magnificación” también muestra **limitaciones**, para la que ya existen varias **soluciones**:

1) Las plantas realizan glicosilaciones postraduccionales de las proteínas específicas de ellas. Esto podría generar en algunos casos proteínas recombinantes no funcionales en humanos o animales, lo que es un problema de especial importancia en el caso de antígenos y anticuerpos.

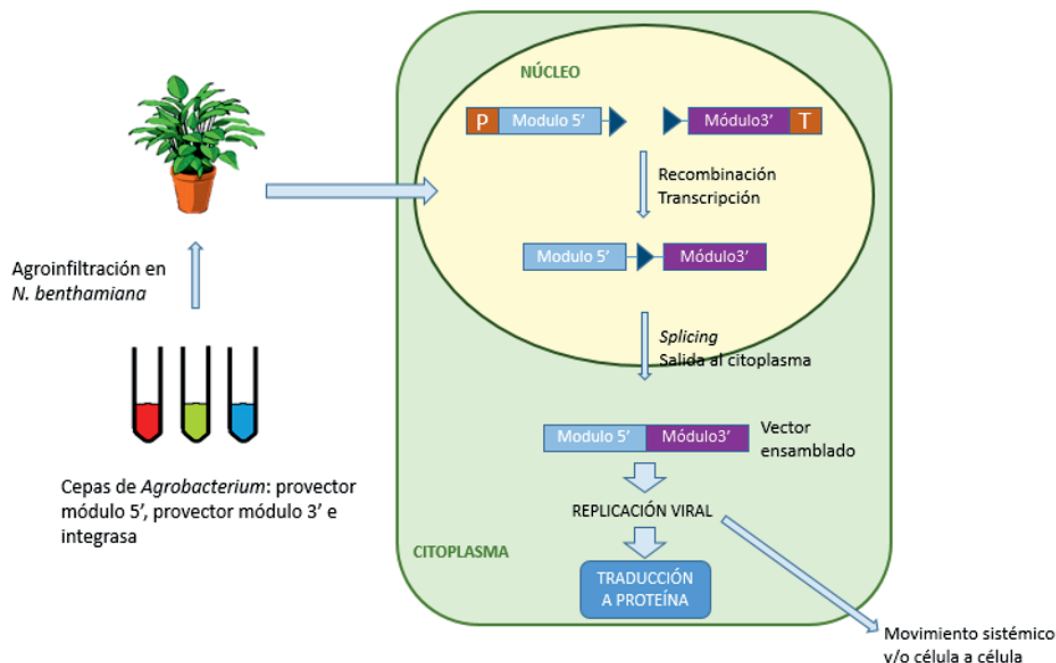
2) La producción industrial en fermentadores de la cepa recombinante de *Agrobacterium* es uno de los procesos que más encarecen la “magnificación”, de modo que esta resultaría más rápida y económica si este proceso se pudiera suprimir. Una forma de lograrlo consistiría en insertar, en el genoma de la planta hospedadora y de forma estable, el replicón viral con el gen de interés bajo el control de un promotor inducible. El desarrollo metodológico sería más lento, pues habría que obtener la planta transgénica por transformación nuclear de las células, regeneración *in vitro* y posterior selección. Sin embargo, la capacidad de producir la proteína recombinante se podría transmitir a los descendientes de la primera planta biofactoría, disponiendo de muchas más a largo plazo (generaciones sucesivas).

Tales ideas fueron adoptadas por Dohi *et al.* (2006) y por Zhang y Mason (2006). Los primeros desarrollaron un sistema basado en un promotor inducible por estrógeno, y los segundos otro en el cual la amplificación se logra gracias a la expresión en *trans* de la proteína iniciadora de la replicación, que se encuentra bajo el control de un promotor inducible por etanol.

3) Otra limitación de la “magnificación” es su adaptación a la expresión de proteínas oligoméricas como los planticuerpos, ya que los vectores virales deben ser manipulados para que expresen cantidades equimolares de diferentes péptidos. Se sabe que la liberación conjunta de 2 construcciones distintas de vectores virales basados en el mismo virus da lugar a replicones competitivos (se produce la amplificación preferencial de uno de ellos).

Giritch y colaboradores (Girith *et al.*, 2006) abordaron este problema y utilizaron dos vectores derivados de dos virus distintos y no competitivos, TMV y PVX, con el fin de producir IgGs completas. La metodología forma parte del sistema MagnICON (Girith *et al.*, 2006; Marillonett *et al.*, 2004), y se basa en el ensamblaje *in planta* de los componentes de la replicación de los genomas de los

virus TMV y PVX a partir de diferentes módulos de ADNc (**Fig. 6**).

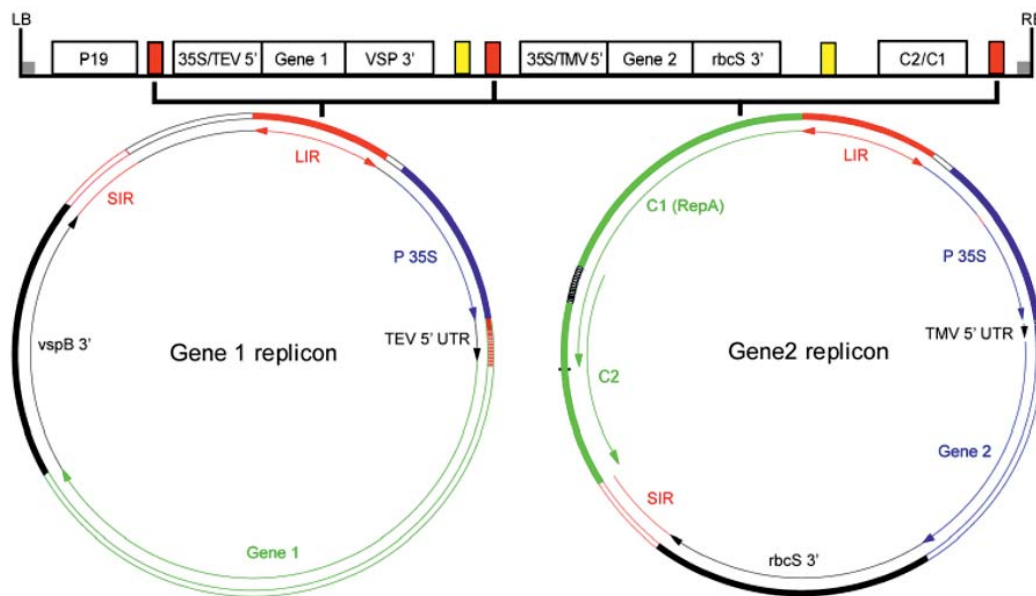


**Figura 6.** Esquema del procedimiento del ensamblaje *in planta* de los módulos de los provectores virales. El módulo 5' lleva el ARN viral correspondiente a la ARN polimerasa y a las proteínas de movimiento del virus. El módulo 3' contiene el transgén y la región 3' no traducida. Las cepas de *A. tumefaciens* dan cabida a los dos módulos, se mezclan y se co-infiltran en las células de planta con una tercera construcción que produce una recombinasa. Producida la expresión, la recombinasa une los módulos 5' y 3' dando lugar a módulos competentes para la replicación en planta. Este montaje de ADN es transcrito y modificado para generar el replicón infeccioso y funcional (elaborado a partir de Marillonett *et al.*, 2004).

Otro vector viral deconstruido destacado por su utilización en la producción de planticuerpos es el Geminiviral-BeYDV (**Fig. 7**), derivado del geminivirus del frijol amarillo enano BeYDV. Este virus tiene una sola hebra circular de ADN que se replica en un gran número de copias por el mecanismo del círculo rodante (Chen *et al.*, 2014). El vector se desarrolló para evitar las modificaciones a realizar como consecuencia de la naturaleza del material genético de TMV y PVX (ARN de cadena simple) y que había que clonar en forma de ADNc.

Con el sistema Geminiviral-BeYDV se consiguen rendimientos de producción de proteínas recombinantes comparables a los logrados con el sistema MagnICON, si bien el tiempo de producción es algo inferior (acumulación de proteínas en 4-8 días tras la agroinfiltración) (Huang *et al.*, 2010; Lai *et al.*, 2012). Además, en un mismo vector Geminiviral-BeYDV se pueden incluir varios genes en tándem. Se resuelve por tanto la dificultad de producir varias hetero-

subunidades (hasta 5) de proteínas multiméricas como los anticuerpos, eliminando la necesidad de co-infectar múltiples módulos de expresión. Este sistema representa un avance significativo en las tecnologías de expresión transitoria para la producción comercial de proteínas farmacéuticas.



**Figura 7.** Un único vector Geminiviral-BeYDV genera dos replicones no competitivos para la coexpresión de dos proteínas, o de una proteína con dos hetero-subunidades. LB y RB son los bordes izquierdo y derecho del T-ADN que se transfiere a la planta mediante *A. tumefaciens*. Hay dos segmentos génicos flanqueados por regiones del genoma viral (LIR, rectángulos rojos). En el momento de la liberación a las células de plantas, la expresión del gen C1/C2 produce una proteína asociada a la replicación del virus que corta las secuencias LIR para generar dos moléculas de ADN monocatenario. A continuación, estas se copian para obtener una doble hebra de ADN que puede replicarse por el mecanismo del círculo rodante. Los dos replicones son amplificados de manera independiente y no competitiva, para producir un gran número de copias de ADN y, a su vez, abundantes ARNm para la traducción de las proteínas 1 y 2 (codificadas por los genes 1 y 2); para conocer detalles ver Chen *et al.*, 2011 y 2013.

### Aplicaciones de la “magnificación” a la producción industrial de anticuerpos contra virus: el caso particular de “ZMapp”

La técnica de la “magnificación” destaca por su aplicación en el ámbito clínico y farmacológico. Ha sido empleada en los procesos de elaboración y obtención de diversas proteínas recombinantes cuya finalidad era el desarrollo de nuevas vacunas (**Tabla 2**). Entre estos destaca, dada la gran repercusión que tuvo, la obtención de los anticuerpos que forman parte de “ZMapp”, uno de los tratamientos que mejores resultados ha dado frente a la enfermedad causada por el virus del Ébola (EVD).

El virus del Ébola o *Zaire ebolavirus* pertenece al género *Ebolavirus* (familia *Filoviridae*), junto con otras 4 especies, de las cuales 3 son también patógenas para el hombre. Es un virus zoonótico que se transmite de animales a humanos por contacto directo o por la ingesta de carne infectada. Entre las especies implicadas en el contagio a humanos se encuentran el chimpancé, el gorila, y algunas especies de murciélagos. Estos últimos son los candidatos más factibles a representar el reservorio del virus. El contagio entre humanos sucede por contacto directo con mucosas, heridas o fluidos corporales.

**Tabla .** Ejemplos de proteínas farmacéuticas producidas mediante “magnificación”.

Planta hospedadora	Diana farmacológica	Fase de desarrollo	Referencia
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna Gripe A H5N1 HA VLP	I/II ensayo clínico	Potera, 2012
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna complejo inmune contra el Ébola	Preclínica	Phoolcharoen et al., 2011
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna HgcHB VLP	Preclínica	Huang et al., 2009
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna HgsHB VLP	Preclínica	Chen y Lai, 2013
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna HIV-1 Pr55gag	Preclínica	Chen y Lai, 2013
<i>N. benthamiana</i>	Vacuna contra WNV preM/M y E	Preclínica	Chen et al., 2011; Chen y Lai, 2013
<i>N. benthamiana</i> , lechuga	Terapia contra Ébola basada en MAb	Preclínica	He et al., 2012; Huang et al., 2010; Lai et al., 2012; Olinger et al., 2012
<i>N. benthamiana</i> , lechuga	Vacuna contra Norovirus NVCP VLP	Preclínica	Huang et al., 2009; Lai et al., 2012; Santi et al., 2008
<i>N. benthamiana</i> , lechuga	Terapia contra WNP basada en mAb	Preclínica	Lai et al., 2010; Lai et al., 2012
<i>N. benthamiana</i> , lechuga	Vacuna WNV DIII	Preclínica	Chen et al., 2011; Lai et al., 2012

HA: hemaglutinina; VLP: *virus-like particle*; AgcHB: antígeno “core” del virus hepatitis B; AgsHB: antígeno de superficie del virus hepatitis B; Pr55gag: precursor de la proteína Gag; WNV: virus del Nilo Occidental (*West Nile virus*); preM/M: proteínas de la premembrana y la membrana; E: proteína de la envoltura; NVCP: proteína capsídica de Norovirus.

Desde el descubrimiento del virus Ébola han tenido lugar unos 20 brotes epidémicos, siendo el más grave el ocurrido en 2014 (Choi *et al.*, 2005). Con más de 28.000 afectados, de los cuales murieron aproximadamente el 40%, la enfermedad se desarrolla a lo largo de unos 21 días después de la exposición al virus. Se caracteriza porque el paciente presenta inicialmente fiebre alta, dolor de cabeza y abdominal, coagulación intravascular diseminada, diarrea y vómitos. Cuando la enfermedad evoluciona da lugar a múltiples hemorragias que derivan en un fallo multiorgánico antes de que la respuesta inmune sea efectiva, lo que finalmente significa la muerte del individuo. La gravedad del último brote de Ébola ha demostrado al mundo la necesidad de obtener vacunas o fármacos que protejan a la población.

El desarrollo de fármacos frente al virus de Ébola y/o a sus efectos se inició alrededor de 2002, existiendo algunos agentes experimentales de entre los que destacan TKM-Ébola, favipiravirin, BCX 4430 y “ZMapp” (World Health Organization, 2014).

“Zmapp” es un biofármaco con 3 anticuerpos monoclonales recombinantes. Resulta de la mezcla de los anticuerpos más eficientes de otros dos cócteles: a) el “MB-003”, creado por Mapp Biopharmaceutical (San Diego, USA) en colaboración con el Instituto de Investigaciones Médicas en Enfermedades Infecciosas del Ejército de EE.UU.; y b) el “ZMab”, desarrollado por Defyrus Inc. (Toronto). En ambos casos los anticuerpos se produjeron en plantas de *N. benthamiana* agroinfiltradas con cepas de *Agrobacterium* portadoras de vectores virales deconstruidos, si bien se utilizó el sistema MagnICON en el caso de “MB-003” y el sistema Geminiviral en el de “ZMab”. En cuanto a la eficiencia de ambos fármacos, el “MB-003” protegió al 100% de los primates no humanos infectados cuando se les administró tras 1 h de ser expuestos al virus del Ébola, y al 67% cuando se les suministró a los 2 días (Olinger *et al.*, 2014). Igualmente, el 100% de macacos expuestos al virus y tratados 1 día después con “ZMab” sobrevivieron (Qiu *et al.*, 2012). Estos y los resultados de otros ensayos (Pettitt *et al.*, 2013, Qiu *et al.*, 2013) animaron a las dos empresas a firmar un consorcio, Leaf Biopharmaceutical (San Diego), en el que participan también el Gobierno de EE.UU. y la Agencia de Salud Pública de Canadá. El consorcio promovió el desarrollo de “ZMapp”, tratamiento que combina los anticuerpos 13C6 de “MB-003”, y 2G4 y 4G7 de “ZMab”. Los tres son producidos a gran escala mediante “magnificación” por la empresa Kentucky BioProcessing (**Fig. 5**). 8-10 días después de realizar la “magnificación” en *N. benthamiana*, los anticuerpos se extraen de las plantas, se purifican y se utilizan para formular “ZMapp”. El tratamiento se aplica en forma de suero al paciente enfermo para proporcionarle inmunidad pasiva.

Cuando el brote de Ébola estalló en 2014, “ZMapp” estaba siendo ensayado en primates no humanos. Los buenos resultados y la urgencia por buscar un tratamiento que frenara la epidemia, hicieron que la Organización Mundial de la Salud (OMS) aprobara en julio de 2014 su empleo en dos cooperantes estadounidenses infectados por el virus. En ambos se produjo la reversión de la enfermedad. También se ensayó en un misionero español infectado, pero este falleció, probablemente por el estado avanzado en que se encontraba la EVD y por la edad del paciente.

Siguiendo la cronología de ensayo de “ZMapp”, la OMS aprobó el 12 de agosto de 2014 su uso en África como tratamiento experimental frente a la EVD, considerando la situación en el continente. A finales del mismo mes, se publicaron los resultados definitivos de los experimentos realizados en *macacos Reshus*, con una recuperación del 100% de los 18 animales que habían sido infectados con el virus y a los que se les aplicó el suero con “ZMapp” 5 días después (Qiu *et al.*, 2014). En febrero de 2015, el Instituto Nacional de Salud de EE.UU. dio permiso para que el Instituto Nacional de Enfermedades Alérgicas e Infecciosas iniciara un ensayo clínico que concluirá a finales de 2016. En octubre de 2015 la FDA modificó la categoría de “ZMapp” de medicamento huérfano a medicamento de aprobación rápida, lo que permitirá acelerar su salida a mercado en nuevas situaciones de urgencia.

## Conclusión

En los últimos años, la agricultura molecular se ha destacado como una plataforma prometedora en la producción de proteínas recombinantes de uso farmacológico. En el amplio escenario que ofrecen las plantas, encontramos distintos sistemas y metodologías con diversas características, que los hacen aptos para un propósito concreto. En la búsqueda de un sistema que dé respuesta a una demanda de productos terapéuticos como anticuerpos, de forma rápida y con elevados rendimientos, la metodología que más se ajusta en base de los datos analizados anteriormente es la llamada “magnificación”.

## Bibliografía

- Chen, Q. 2008. Expression and purification of pharmaceutical proteins in plants. *Biological Engineering* 1:291-321.
- Chen, Q. y Lai, H. 2013. Plant-derived virus-like particles as vaccines. *Human Vaccines & Immunotherapeutics* 9:26-49.
- Chen, Q., He, J., Phoolcharoen, W. y Mason, H.S. 2011. Geminiviral vectors based on

- bean yellow dwarf virus for production of vaccine antigens and monoclonal antibodies in plants. *Human Vaccines* 7:331-338.
- Chen, Q., Lai, H., Hurtado, J., Stahnke, J., Leuzinger, K y Dent, M. 2013. Agroinfiltration as an effective and scalable strategy of gene delivery for production of pharmaceutical proteins. *Advanced Techniques in Biology & Medicine* 1:103.
- Choi, W.Y., Hong, K.J., Hong, J.E. y Lee, W.J. 2015. Progress of vaccine and drug development for Ebola preparedness. *Clinical and Experimental Vaccine Research* 4:11-16.
- Chung, S.M., Vaidya, M. y Tzifira, T. 2006. *Agrobacterium* is not alone: gene transfer to plants by viruses and other bacteria. *Trends In Plant Science* 11:1-4.
- Dohi, K., Nishikori, M., Tamai, A., Ishikawa, M., Meshi, T. y Mori, M. 2006. Inducible virus-mediated expression of a foreign protein in suspension-cultured plant cells. *Archives of Virology* 151:1075-1084.
- García, D.J. 2010. Plantas como fábricas de proteínas recombinantes humanas. *Cultura del Cuidado Enfermería* 7:39-50.
- Gelvin, S.B. 2003. *Agrobacterium*-mediated plant transformation: the biology behind the “gene-jockeying” tool. *Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR* 67:14701-14706.
- Giritch, A., Marillonnet, S., Engler, C., van Eldik, G., Botterman, J., Klimyuk, V. y Gleba, Y. 2006. Rapid high-yield expression of full-size IgG antibodies in plants coinfecting with noncompeting viral vectors. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 103:14701-14706.
- Gleba, Y., Klimyuk, V. y Marillonnet, S. 2005. Magniffection - a new platform for expressing recombinant vaccines in plants. *Vaccine* 23:2042-2048.
- Gleba, Y., Klimyuk, V. y Marillonnet, S. 2007. Viral vectors for the expression of proteins in plants. *Current Opinion in Biotechnology* 18:134-141.
- Gleba, Y., Marillonnet, S., y Klimyuk, V. 2004. Engineering viral expression vectors for plants: the “full virus” and the “deconstructed virus” strategies. *Current Opinion in Plant Biology* 7:182-188.
- Grimsley, N., Hohn, B. y Walden, R. 1986. “Agroinfection”, an alternative route for viral infection of plants by using the Ti plasmid. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 83:3282-3286.
- He, J., Lai, H., Brock, C. y Chen, Q. 2012. A novel system for rapid and cost-effective production of detection and diagnostic reagents of the West Nile virus in plants. *Journal of Biomedicine & Biotechnology* 2012:1-10.
- Huang, Z., Chen, Q., Hjelm, B., Arntzen, C. y Mason, H. 2009. A DNA replicon system for rapid high-level production of virus-like particles in plants. *Biotechnology and*

- Bioengineering* 103:706-714.
- Huang, Z., Phoolcharoen, W., Lai, H., Piensook, K., Cardineau, G., Zeitlin, L., Whaley, K.J., Arntzen, C., Mason, H. y Chen, Q. 2010. High-level rapid production of full-size monoclonal antibodies in plants by a single-vector DNA replicon system. *Biotechnology and Bioengineering* 106:9-17.
- Lai, H., He, J., Engle, M., Diamond, M.S. y Chen, Q. 2012. Robust production of virus-like particles and monoclonal antibodies with fminiviral replicon vectors in lettuce. *Plant Biotechnology Journal* 10:95-104.
- Lai, H., Engle, M., Fuchs, A., Keller, T., Johnson, S., Gorlatov, S., Diamond, M.S. y Chen, Q. 2010. Monoclonal antibody produced in plants efficiently treats West Nile virus infection in mice. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 107:2419-2424.
- Loza-Rubio, E. y Gómez-Lim, M.A. 2006. Producción de vacunas y otros compuestos biológicos en plantas transgénicas. *Veterinaria México* 37:441-455.
- Maliga, P. 2004. Plastid transformation in higher plants. *Annual Review of Plant Biology* 55:289-313.
- Marillonnet, S., Thoeringer, C., Kandzia, R., Klimyuk, V. y Gleba, Y. 2005. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transfection of viral replicons for efficient transient expression in plants. *Nature Biotechnology* 23:718-723.
- Marillonnet, S., Giritch, A., Gils, M., Kandzia, R., Klimyuk, V. y Gleba, Y. 2004. In planta engineering of viral RNA replicons: efficient assembly by recombination of DNA modules delivered by *Agrobacterium*. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 101:6852-6857.
- Nester, E.W. 2015. *Agrobacterium*: nature's genetic engineer. *Frontiers in Plant Science* 5:730.
- Obembe, O.O., Popoola, J.O., Leelavathi, S. y Reddy, S.V. 2011. Advances in plant molecular farming. *Biotechnology Advances* 29:210-222.
- Olinger, G.G.Jr., Pettitt, J., Kim, D., Working, C., Bohorov, O., Bratcher, B., Hiatt, E., Hume, S.D., Johnson, A.K., Morton, J., Pauly, M., Whaley, K.J., Lear, C.M., Biggins, J.E., Scully, C., Hensley, L. y Zeitlin, L. 2012. Delayed treatment of Ebola virus infection with plant-derived monoclonal antibodies provides protection in rhesus macaques. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 109:18030-18035.
- Phoolcharoen, W., Bhoo, S.H., Lai, H., Ma, J., Arntzen, C.J., Chen, Q. y Mason, H.S. 2011. Expression of an immunogenic Ebola immune complex in *Nicotiana benthamiana*. *Plant Biotechnology Journal* 9:807-816.
- Potera, C. 2012. Vaccine manufacturing gets boost from tobacco plants. Canada-based



- Medicago opens U.S. facility to exploit its influenza vaccine production method. *Genetic Engineering and Biotechnology News* 32:8-10.
- Qiu, X., Audet, J., Wong, G., Pillet, S., Bello, A., Cabral, T., Strong, J.E., Plummer, F., Corbett, C.R., Alimonti, J.B. y Kobinger, G.P. 2012. Successful treatment of Ebola virus-infected cynomolgus macaques with monoclonal antibodies. *Science Translational Medicine* 4:138-181.
- Qiu, X., Audet, J., Wong, G., Fernando, L., Bello, A., Pillet, S., Alimonti, J.B. y Kobinger, G.P. 2013. Sustained protection against Ebola virus infection following treatment of infected nonhuman primates with ZMab. *Scientific Reports* 3.
- Qiu, X., Wong, G., Audet, J., Bello, A., Fernando, L., Alimonti, J.B., Fausther-Bovendo, H., Wei, H., Aviles, J., Hiatt, E., Johnson, A., Morton, J., Swope, K., Bohorov, O., Bohorova, N., Goodman, C., Kim, D., Pauly, M.H., Velasco, J., Pettitt, J., Olinger, G.G. Whaley, K., Xu, B., Strong, J.E., Zeitlin, L. y Kobinger, G.P. 2014. Reversion of advanced Ebola virus disease in nonhuman primates with “Zmapp”. *Nature* 514:47-53.
- Santi, L., Batchelor, L., Huang, Z., Hjelm, B., Kilbourne, J., Arntzen, C.J., Chen, Q. y Mason, H.S. 2008. An efficient plant viral expression system generating orally immunogenic Norwalk virus-like particles. *Vaccine* 26:1846-1854.
- Vitale, A. y Pedrazzini, E. 2005. Recombinant pharmaceuticals from plants: the plant endomembrane system as bioreactor. *Molecular Interventions* 5:216-225.
- World Health Organization 2014. Potential Ebola therapies and vaccines. *WHO consultation on potential Ebola therapies and vaccines: background document for participants*.
- Wylie, S.J., Zhang, C., Long, V., Roossinck, M.J., Koh, S.H., Jones, M.G., Iqbal, S. y Li, H. 2015. Differential responses to virus challenge of laboratory and wild accessions of Australian species of nicotiana, and Comparative analysis of RDR1 gene sequences. *PloS One* 10.
- Xu, J., Dolan, M.C., Medrano, G., Cramer, C.L. y Weathers, P.J. 2012. Green factory: plants as bioproduction platforms for recombinant proteins. *Biotechnology Advances* 30:1171-1184.
- Zhang, X. y Mason, H. 2006. Bean yellow dwarf virus replicons for high-level transgene expression in transgenic plants and cell cultures. *Biotechnology and Bioengineering* 93:271-279.

## SIGUIENDO LA PISTA

### Desde las raíces: etimologías embelesadoras de palabras comunes procedentes de plantas

José Luis Acebes Arranz

Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Área de Fisiología Vegetal.  
Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

[jl.acebes@unileon.es](mailto:jl.acebes@unileon.es)

¿Qué tienen en común palabras tan diferentes como asesino, bachillerato, calamidad, embelesar u orzuelo? No lo es la lengua de procedencia (ya que unas derivan del latín, otras del griego e incluso otras del árabe) y tampoco su campo semántico. Lo que comparten los nueve términos que hemos seleccionado, todos ellos admitidos por la Real Academia Española (RAE), es una característica peculiar: tienen su origen, de una forma u otra, en plantas. Vamos a bucear en su etimología y, “siguiendo la pista”, rastrear el camino que han recorrido estas palabras hasta adquirir el significado que hoy conocemos. Aprenderemos de paso datos interesantes sobre la biología y las propiedades de las plantas que están en su origen.

**Palabras clave:** *Cannabis sativa*, *Ceratonia siliqua*, *Ferula communis*, *Hyosciamus niger*, *Plumbago europea*, *Verbascum thapsus*

#### Asesino: consumo de hachís y homicidio

Según la RAE, *asesino*<sup>1</sup> procede del *árabe* *ḥaššāšīn*, que significa adictos al *cañamo indio* (*Cannabis sativa*).

En la Edad Media, entre los siglos X y XIII, prosperó en Oriente Medio una secta militar chiíta, los nizaríes. Sus miembros eran conocidos popularmente como los *hassasin* ya que, según atestiguan numerosos documentos, eran adictos al hachís (de *hashsh ashin*, los que consumen hachís). Los nizaríes se hicieron tristemente famosos por sus actividades destinadas a poner fin a la vida de reyes y de autoridades militares, políticas y religiosas de la época. Se dice que los dirigentes nizaríes “colocaban” a sus secuaces bajo los efectos del hachís, y éstos al despertar se entregaban a lo que les ordenaran con tal de regresar al estado de alucinación experimentado.

<sup>1</sup>En azul y cursiva se resaltan los textos que proceden del diccionario de la RAE.

Forma de mencionar este artículo: Acebes, J.L. 2016, Desde las raíces: etimologías embelesadoras de palabras comunes procedentes de plantas. *AmbioCiencias*, 14, 40-50. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Y es que el consumo frecuente de hachís provoca sueño, efectos alucinógenos e incluso delirio, y genera una progresiva adicción. Estos efectos son promovidos por los cannabinoides psicotrópicos que sintetizan las plantas de cannabis (entre ellos el tetrahidrocannabinol), los cuales interactúan con determinados receptores del Sistema Nervioso Central.

Poco a poco el término *hassasin* comenzó a extenderse para expresar el acto de acabar con la vida de alguien, pero particularmente de personajes importantes. Con el tiempo el significado de 'asesino' se fue ampliando para designar a quien suprimía la vida de otro, sin tener en cuenta la relevancia de la víctima (el 'asesinado'), y hoy *asesinar* es *matar a alguien con alevosía, ensañamiento o por una recompensa*.

En Europa *hassasin* dio lugar al término latino *assassinus*, y de ahí pasó a las diferentes lenguas europeas con pocas variaciones, como *assassin* (en inglés y francés), *assassin* (en alemán), *assassino* (en italiano y portugués), *assassí* (en catalán) o *asasino* (en gallego).

Curiosamente, en la década de 1840, funcionó en París una asociación de intelectuales que se dedicaba a experimentar los efectos “recreativos” del hachís –por entonces no se conocían a fondo las consecuencias de su consumo–, y que se autodenominó el “club des Hashischins”. A él pertenecieron, por ejemplo, Víctor Hugo, Alexandre Dumas, Honoré de Balzac y Charles Baudelaire.

### **Bachillerato: estudios coronados con laurel**

**Bachillerato** son los *estudios de enseñanza secundaria que preceden a los superiores*. Según numerosas fuentes, el término procede del *l. baccalaureatus*, es decir, laurel con frutos. Ello es debido a que en la Edad Media aquellos que superaban los estudios solían ser condecorados con una corona de laurel que portara frutos. De este modo se significaba que el **laureado** (*del lat. laureātus 'coronado con el laurel', símbolo de la victoria*), había terminado con fruto sus afanes.

El origen del término se aprecia más claramente en otros idiomas: en italiano los estudios de bachillerato se denominan *baccalaureato* (o *baccellierato*), en inglés, *baccalaureate* (o *bachelor*), y en francés *baccalauréat*.

El laurel es un árbol dioico, esto es, que tiene pies de planta masculinos y otros femeninos. Como solo las plantas femeninas producen fruto, está claro que las plantas masculinas no servirán para preparar la corona.

El nombre científico del laurel es *Laurus nobilis*. El nombre específico hace referencia a la consideración particular que tenía este árbol en la antigüedad,

ya que para simbolizar la gloria, en Grecia y en Roma eran condecorados los deportistas, poetas y guerreros con la *laureola*, *corona de laurel con que se premiaban las acciones heroicas o se coronaban los sacerdotes de los gentiles*.

En la Edad Media y nuestro Siglo de Oro cuando alguien había coronado sus estudios y no ejercía la profesión, sino que vivía de la familia o del cuento, se decía de él que se “había dormido en los laureles”.

### **Calamidad: el abatimiento perjudica también al trigo**

La *calamidad* se define como *desgracia o infortunio que alcanza a muchas personas*. Procede del *l. calamitas*, y éste de *calamus*, caña, paja. ¿Qué tiene que ver la caña con la calamidad? Las variedades de trigo cultivadas hasta mediados del siglo pasado generalmente presentaban una caña larga y delgada, y cuando la espiga iba granando y adquiriendo peso, con frecuencia las plantas se prostaban, sobre todo como consecuencia del viento, y se producía el *encamado* (*dicho de la mies: echarse o abatirse*) (**Fig. 1**), con lo cual los granos se estropeaban y se perdía una buena parte de la cosecha. Este abatimiento de la caña se denominaba 'calamidad', y constituía una verdadera tragedia, ya que comprometía la supervivencia del agricultor y su familia. Más tarde el término se fue aplicando a todo tipo de desastre natural (granizo, helada, sequía, plagas...) e incluso de cualquier otro tipo (¿quién no ha oído la expresión, “eres un calamidad”, espetada contra quien parece que todo lo hace mal?).

La *segunda revolución verde*, hacia mediados del siglo pasado, se puso en marcha con variedades de cereales que tienen un porte semienano, es decir, de caña corta, y por tanto son más resistentes al encamado. Estas plantas son mutantes en la biosíntesis de giberelinas, las hormonas principales que controlan la elongación del tallo, y presentan unos niveles muy inferiores de dichas hormonas, lo cual genera plantas de bajo porte, sin afectar por ello la cantidad o la calidad del grano que producen. La selección de estos mutantes y su aplicación en la agricultura le valió a Norman Borlaug el premio Nobel de la Paz en 1970. Para ampliar la información remito al interesante artículo del Dr. Marcelino Pérez de la Vega sobre Borlaug, publicado en *AmbioCiencias* (2009).

Es curioso comprobar la cantidad de palabras que derivan de *calamus*, como caramelo, calamar, churumbel, e incluso el nombre científico del sapo corredor (*Epidalea calamita*, antes *Bufo calamita*), literalmente el sapo que vive entre las cañas (remito al interesado a la magnífica obra de Javier del Hoyo, titulada *Etimologicón* (2013).



**Figura 1.** Abatimiento de los tallos de trigo (encamado), que se encuentra en el origen de la palabra 'calamidad' (<http://www.aceytuno.com>)

### **Embarbascar: pescar con plantas matapeces**

*Embarbascar* (= *envarbascar*) es *envenenar el agua con verbasco u otra sustancia análoga para atontar a los peces*. El verbasco es el conocido gordolobo (*Verbascum thapsus*) (**Fig. 2**), que recibe su nombre común del latín *corda lupi*, cola de lobo.

Ya los romanos machacaban los frutos y las hojas de esta planta para pescar: añadían el jugo fresco a charcas o pequeñas pozas de los ríos y lograban el atontamiento temporal de los peces, que eran recogidos así con facilidad. Por ello el gordolobo recibe también el nombre de 'matapeces'.

Este efecto se debe a los metabolitos ictiotóxicos liberados. Los más activos son unas saponinas denominadas verbascosaponósidos, que interfieren en la respiración branquial del pez, dejándolo entumecido.

El uso de plantas “matapeces” para pescar está muy extendido: en diferentes culturas se utilizan distintas especies, como el cardón (*Euphorbia canariensis*) en las Canarias, *Dioscorea composita* en Méjico, o *Piscidia composita* en las Antillas, por citar algunas. Sus efectos proceden de metabolitos ictiotóxicos diversos, como saponinas, rotenona (un isoflavonoide), o monoterpenos como los iridoides.

Ya Alfonso X el Sabio en las *Siete Partidas* (1255) había promulgado que: “Nenguno non eche yerbas nin cal nin otra cosa nenguna en las aguas como muera el pescado...”. Actualmente la legislación española prohíbe terminantemente el uso de plantas ictiotóxicas para pescar.

Con el paso del tiempo, embarbascar ha venido a significar además, por

extensión, *confundir*, *embarazar*, *enredar*, *atascar*. También se usa como reflexivo: 'embarbascarse', en el sentido de aturdirse, confundirse, enredarse, e incluso enamorarse.



**Figura 2.** Extremo apical de una planta de gordolobo (Foto: Barbara Aru)

### **Embelesar: cuando las plantas cautivan los sentidos**

Según la RAE, *embelesar* es *arrebatarse o cautivar los sentidos*. Relacionados con embelesar encontramos los sustantivos *embelesamiento* y *embeleso*, con el significado de *efecto de embelesar, o cosa que embelesa*.

Estos términos provienen de *en-* y *belesa*. La *belesa* es *Plumbago europea* (**Fig. 3**), una *planta vivaz de la familia de las plumbagináceas* (...) *Tiene virtudes narcóticas*.

Las propiedades narcóticas de la belesa se deben a la presencia de plumbagina, una naftoquinona que tiene efectos citotóxicos, antibacterianos y antifúngicos, y que es activa sobre el Sistema Nervioso Central.

El término 'embelesar' aparece ya en *La Celestina* (1499). Exclama Areúsa: "estoy embelesada, sin tiento, como quien cosa imposible oye". Por tanto, 'embelesado' significa aquí "fuera de sí, sin juicio ni sentido por un gran dolor". Cervantes, más tarde, emplea el término con el significado, ya más débil, de "atontado, turbado, confuso, ensimismado". Así, en *El Quijote* (1605), "estaba la disfrazada moza como embelesada, mirándolos a todos, sin mover labio ni decir palabra alguna, bien así como rústico aldeano que de improviso se le muestran cosas raras y dél jamás vistas", y en *El casamiento engañoso* (1613): "que amortigüe todos los sentidos, y los embelese".

Podemos apreciar cómo el significado de 'embelesar', que inicialmente designaba a alguien aletargado, sin sentido ni movimiento, ha ido derivando hacia el sentido actual aplicado a una persona arrebatada y entusiasmada.

La belesa es otra planta utilizada para embarbascar, y de hecho, es conocida también como 'hierba matapeces', ya que al arrojar al río belesas, los peces quedan atontados, “embelesados” (sin sentido ni movimiento) y se dejan capturar.



**Figura 3.** Detalle de una planta de belesa (yabanicicek.com)

### **Embeleñar: el sueño con beleño**

Un término relacionado con embelesar es *embeleñar*, (de *en-* y *beleño*), que tiene dos acepciones: la primera es *embelesar*, y la segunda, *adormecer con beleño*. Vamos a seguir este segundo significado.

El beleño (*Hyosciamus niger*) (**Fig. 4**) es una solanácea, conocida desde la antigüedad por sus propiedades adormecedoras. De hecho el beleño es denominado en algunos lugares 'dormidera' o 'yerba loca'. Se utilizaba para debilitar la voluntad de la persona a la que se le daba a beber, frecuentemente mezclada con vino.

En castellano antiguo 'embeleñado' se utiliza con el significado de “loco, sin juicio”. Así, en *Los Milagros de Nuestra Señora*, de Gonzalo de Berceo, (circa 1240) aparece: "recudióla [contestó] Teófilo como embellinnado" (nótese que nn=ñ y ll deriva a l), y en *El Libro del Buen Amor*, del Arcipreste de Hita (circa 1350) 'enveliñar' y 'enveleñar' se emplean en sentido figurado como "envenenar con palabras o promesas". Así: "con tus muchas promesas a muchos enveliñas", y también: "encantóla de guisa, que la enveleñó".

El beleño se utilizaba como brebaje en las brujerías y en hechizos relacionados con el amor en la Edad Media, ya que producía alucinaciones y encantamientos. Pero también podía provocar la muerte. Así Shakespeare, en *Hamlet* (circa 1600), hace verter a Claudio veneno en la oreja de su hermano, el rey Hamlet, mientras éste dormía, para usurparle su trono. El fantasma del rey se

aparecerá al príncipe Hamlet, su hijo, para comunicarle que ha sido envenenado con un extracto de beleño y que debe vengar su muerte a manos de su tío Claudio.

Estas propiedades del beleño se deben a una serie de alcaloides que sintetiza, como hiosciamina, escopolamina y atropina, que actúan bloqueando los receptores de la acetilcolina, un neurotransmisor responsable de la contracción muscular y de las secreciones de diversas glándulas. La escopolamina o burundanga aparece ocasionalmente en los medios de comunicación para alertar sobre delitos de “sumisión química”, es decir, aquéllos que aprovechan el estado de pasividad de las personas, generado por el consumo accidental de este alcaloide, que les debilita la voluntad y les lleva a ejecutar sin oposición y de modo automático órdenes recibidas. Como dicho consumo suele ocasionar, además, pérdida de memoria, las víctimas no son capaces de recordar fielmente lo ocurrido y se pierde la ocasión de perseguir a los agresores.

También la escopolamina se ha empleado como “suero o droga de la verdad”, pero lo más probable es que esta sustancia (lo mismo que otras con efecto hipnótico o sedante, como el temazepam, o incluso el alcohol) no promueva tanto la capacidad del sujeto para decir la verdad como su locuacidad, con lo cual éste sea más proclive a entremezclar en su testimonio lo real con lo fantástico.



**Figura 4.** Aspecto de una planta de beleño negro (Foto: Barbara Aru)

### **Férula: un paraguas de significados**

*Férula* (del lat. *ferŭla*) tiene varios significados: 1. *Cañaheja* (|| *planta umbelífera*). 2. *Autoridad o poder despótico. Estar uno bajo la férula de otro.* 3. *Tablilla flexible y resistente que se emplea en el tratamiento de las fracturas.* 4. *Palmeta para castigar a los muchachos de la escuela.*

Los diferentes sentidos de este sustantivo tienen su origen en la planta: la férula o cañaheja (*Ferula communis*) (**Fig. 5**), una umbelífera de tallo grueso y alto (puede alcanzar los 3 m) e inflorescencias amarillas. El tallo contiene en su interior un tejido esponjoso, la médula.



Además de la planta, la **cañaheja**, designa el tallo principal de esta planta *después de cortado y seco*. Estos tallos preparados, también denominados férulas en algunos lugares, sirven para fabricar cestos y jaulas.

Los tallos de las férulas servían en distintos lugares del Mediterráneo como mechas para conservar y transportar el fuego, a modo de yesca, ya que la médula se inflama con facilidad y se consume lentamente, sin llegar a quemar la corteza. Hesíodo escribió en *Teogonía* (s. VII a.C.) que Prometeo robó el fuego de los dioses y lo ocultó en un vástago de férula para llevarlo hasta la tierra. Como la médula se consume sin llama, el fuego pudo ser transportado sin ser visto.

En *El Quijote* aparece un pasaje simpático en el cual un deudor se presenta con “una cañaheja por báculo” y jura ante Sancho Panza (gobernador de la ínsula Barataria) que ya ha devuelto el dinero a su acreedor. El deudor, en el momento de jurar, pide al acreedor que le sostenga un momento el báculo, y al terminar el juramento vuelve a recogerlo. Sancho deduce que en la caña se encuentra la clave del misterio, y “mandó que allí se rompiese y abriese la caña. Hízose así, y en el corazón della hallaron diez escudos en oro”.

Los tallos de la planta son varas flexibles, que se utilizaban para castigar a los niños y esclavos. De este modo 'férula' derivaría del l. 'ferire', herir. Por asociación se llamó férula a cualquier bastón o tablilla destinados a castigar, y también a los golpes que se propinaban con estos instrumentos. De aquí la palabra 'férula' derivó hacia otros usos posteriores: tanto las tablillas utilizadas para el tratamiento de las fracturas, como el poder despótico.

También 'férula' designaba el cetro de los emperadores, y sigue dando nombre al bastón pastoral de los obispos (férula común), y al del papa (férula papal), llamado también cruz del pescador.

Por cierto, el nombre del **ácido ferúlico** procede de esta especie, de la cual se aísla fácilmente, aunque la presencia de este compuesto fenólico es prácticamente universal entre las plantas.

Por último, cabe señalar que el **ferulismo** es una intoxicación descrita en caballos y vacas que han consumido cañaheja. Está provocada por las cumarinas, como ferulina y umbeliferona, que la planta acumula como defensa: son fototoxinas y producen fotosensibilización y dermatitis por contacto.



**Figura 5.** Aspecto de una férula o cañaheja (redalas.mforos.com)

### **Orzuelo: un grano de cebada en el párpado**

El **orzuelo** es un *divieso pequeño que nace en el borde de uno de los párpados*. El nombre procede *del l. hordeölus*, que es el diminutivo de *hordeum*, el grano de cebada (*Hordeum vulgare*).

Esta afección ocular aparece ya citada por Celso (I aC-I dC), que la describe como semejante a un grano de cebada. La relación etimológica entre orzuelo y cebada es más patente en otros idiomas: así, en francés 'orge' es cebada y 'orgelet', orzuelo; y en italiano 'orzo' es cebada y 'orzaiuolo', orzuelo. En alemán, incluso se dice popularmente "tener un grano de cebada en el párpado" para referirse al orzuelo. En *Sumario de la medicina* (1498), Francisco López de Villalobos denomina 'ordeolo' al divieso, en comparación con 'ordio', el grano de cebada: "ordeolo es una inchazón que dun lagrimal hasta el otro alcanza como un grano de ordio".

Según la cultura popular, el orzuelo se adquiere en general por motivos mágicos, como no satisfacer los caprichos de una embarazada, comer delante de ella, o mirarla con malos ojos. Para curarlo se recurre a pasar sobre la hinchazón una moneda caliente, una llave hueca, un clavo de herradura o un anillo de oro. Hay otras formas más estafalarias, como reventarse sobre el orzuelo una mosca viva o un huevo de tortuga, o llamar a un portal, y cuando pregunten desde dentro quién es, contestar: "Soy el orzuelo y aquí me quedo". Se queda con la afección el primero que traspase el portal.

Es curioso que para curar los orzuelos no aparezcan descritos remedios a partir de plantas; cabría esperar que por la antigua ley de la similitud, según la cual "lo semejante cura lo semejante", se hubiera extendido alguna práctica por la cual la aplicación de cebada al párpado (o el consumo de cerveza!) sirviera para eliminar la afección, pero no lo hemos encontrado.

La investigación oftalmológica ha establecido que más del 90% de los orzuelos se producen por una infección de *Staphylococcus aureus*, que provoca una alteración de la composición lipídica de las secreciones del párpado ocasionada por la acción de las lipasas bacterianas: determinados componentes lipídicos son hidrolizados a ácidos grasos libres que alcanzan niveles tóxicos, y se promueve así un proceso inflamatorio.

Para combatir la hinchazón se recomienda aplicar calor, para que el orzuelo se abra y drene. Generalmente las afecciones terminan por resolverse espontáneamente. Solo en casos severos se recomienda utilizar antiinflamatorios o antibióticos de uso tópico, sobre todo para prevenir infecciones secundarias.

Para terminar, cabe señalar que también de *Hordeum* procede **horchata**

(del lat. *hordeāta* 'hecha con cebada'), que era originalmente una bebida de cebada sin fermentar, y hoy es *bebida hecha con chufas u otros frutos, machacados, exprimidos y mezclados con agua y azúcar*.

### Quilate: la semilla que se volvió preciosa

**Quilate** procede del *árabe qirát*, que es el nombre de la semilla de la algarroba, producida por el algarrobo (*Ceratonia siliqua*), y también el nombre de una pequeña moneda de plata. A su vez 'qirát' procede del griego 'kerátion', cuernecillo, por la forma de la algarroba (**Fig. 6**). El **quilate** es una *unidad de peso para las perlas y piedras preciosas, que equivale a 200 mg*. Y además, *unidad de ley de una aleación de oro equivalente a cada una de las veinticuatro partes, en peso, de oro puro que contiene una aleación de este metal*.

Las semillas de algarroba, debido a su tamaño considerablemente uniforme, se utilizaron en las regiones mediterráneas para establecer el peso de diferentes mercancías. (Curiosamente, en Oriente, esta misma función la desempeñaban los granos de arroz). Con el tiempo las semillas de algarroba (quiráts) se utilizaron para estandarizar las masas de materiales preciosos de pequeño tamaño (aunque posteriormente se emplearon con esta misma finalidad las monedas del mismo nombre, ya citadas; en *Al-Andalus* se acuñaron *quirats* del tamaño de lentejas, que pesaban 900 mg). Actualmente, como señala el diccionario, el quilate equivale a 200 mg.

De este uso de las semillas de algarroba viene **aquilatar**, que de *examinar y graduar los quilates del oro y de las perlas y piedras preciosas*, ha venido a significar también *examinar y apreciar con rigor el mérito de alguien o el mérito o verdad de algo*.



**Figura 6.** Aspecto de las semillas y del fruto del algarrobo (nutribiota.net)

\* \* \*

Hemos seguido la pista a una serie de palabras que nada hacía sospechar que tuvieran sus raíces en diferentes especies de plantas. Hemos podido apreciar que las palabras son como seres vivos, que van evolucionando con el tiempo, y van adquiriendo significados y usos que serían insospechados en sus orígenes. Y hemos comprobado que la biología de las plantas aporta herramientas útiles que permiten interpretar más a fondo la cultura popular.

Sería interesante realizar un artículo paralelo a éste considerando el origen de algunos nombres propios que proceden de plantas (como Jacinto, Narciso, Rosa, Margarita, etc.), o el origen curioso que está detrás de los nombres científicos de muchas especies de plantas (como Cinchona, el árbol de la quina) pero, como escribió Michael Ende en la *Historia Interminable* (1979), “esa es otra historia y debe ser contada en otra ocasión”.

### **Bibliografía**

- Bruneton, J. (2001) *Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas medicinales* (2ª ed.) Ed. Acribia, Zaragoza.
- Del Hoyo, J. (2013) *Etimologicón*. Ed. Ariel, Madrid.
- Font, P. (1990) *Plantas medicinales*. El Dioscórides renovado, 12ª ed. Ed. Labor, Barcelona.
- Morales, R. (2005) *Flora literaria del Quijote. Alusiones al mundo vegetal en las obras completas de Cervantes*. Instituto de Estudios Albacetenses “Don Juan Manuel”, Albacete.
- Pérez, M. (2009) Norman E. Borlaug (1914-2009) y la revolución verde. *Ambiociencias* 9:76-86.

## Denominaciones de algunas legumbres en la provincia leonesa

Janick Le Men Loyer

Departamento de Filología Hispánica y Clásica. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de León.

El año internacional de las legumbres nos brinda la ocasión de enfocarnos desde el punto de vista lingüístico. Dentro de la gran familia de las leguminosas, estudiaremos solo las que tienen un valor alimenticio, tales como las judías, habas, lentejas, garbanzos, altramuces, almortas o guisantes. No se trata de describirlas con todo lujo de detalles (responsabilidad de los botánicos), sino de recoger las numerosas denominaciones que reciben en la provincia leonesa; algunas exclusivas de León, otras conocidas en otras tierras. Ahora bien, las correspondencias entre los nombres vulgares y científicos son, a menudo, difíciles de establecer porque, en muchos casos, esos nombres designan, según las zonas, especies distintas.

**Palabras clave:** Lingüística, dialectología, botánica, leguminosas.

### Introducción

Con motivo del año internacional de las legumbres, vamos a estudiarlas, no desde el punto de vista de la botánica ni tampoco por su relevancia en la dieta mediterránea, sino desde un punto de vista lingüístico. Uno de los problemas al que el investigador se enfrenta cuando se acerca al estudio de las plantas, flores, frutos, arbustos, etc., es encontrar la denominación exacta de cada tipo. El lingüista no suele ser botánico ni tampoco los informantes que proporcionan los nombres vulgares al dialectólogo. Así, lo explica Manuel Esgueva (2001): “En las denominaciones de las herbáceas es frecuente el uso erróneo de nombres vulgares, lo cual es lógico debido a la transmisión oral y a la diferente capacidad visual de los informantes. A veces se utiliza el mismo nombre para plantas distintas y estos se deforman y cambian”. En su estudio sobre la toponimia de la cuenca alta del Esla, Julia Miranda (1985) hace, a su vez, hincapié en la dificultad que supone distinguir a veces unas especies de otras. Por ejemplo, al hablar de la familia de las Leguminosas, entre las que cita *escoba*, *piorno*, *codeso*, *genista*, *hiniesta*, *retama*, etc., dice lo siguiente: “La distinción entre ellas es difícil, incluso para los especialistas, dada la gran variedad de especies y las pequeñas diferencias que se aprecian de unas a otras. Todas son muy abundantes en España y presentan muchas variedades locales, debidas a las diferencias climáticas y de constitución

Forma de mencionar este artículo: Le Men Loyer, J. 2016, Denominaciones de algunas legumbres en la provincia leonesa. *AmbioCiencias*, 14, 51-59. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

de suelos. En cada zona, en cada localidad incluso, las gentes del pueblo se han limitado a distinguir con nombres diferentes las variedades que en ella se dan, sin establecer, como era de esperar, síntesis opositivas mayores. Por eso, cada uno de estos nombres vulgares designan, según las zonas, especies distintas o, al contrario, varios de estos nombres coinciden, a veces, en denominar la misma especie en distintas zonas. Se comprende, pues, que el panorama sea confuso y las correspondencias entre los nombres vulgares y los científicos muy difíciles de establecer”.

### Leguminosas

Esta familia de plantas cuenta, según las fuentes, con más de 12000 especies de hierbas, matas, arbustos y árboles. Se caracteriza sobre todo por sus frutos, aquellas vainas llamadas legumbres (del latín *legumīne*), voz que ya aparece utilizada en la documentación medieval de la catedral de León por lo general en pasajes formulísticos: *temporaneo et serotino leuguminis et de ortis seu eti[am] et po[m]liferis* [año 914-924]; *morales uel omnia lecumina* [año 968] (Álvarez Maurín, 1994). Nos ocuparemos solamente de las que tienen un valor alimenticio y, por tanto, más conocidas, como las judías, habas, lentejas, almorzas, altramuces, garbanzos o guisantes.



**Figura 1.** Entre las muchas variedades de habas existentes se encuentran las *habas blancas* y *habas pintas* (judías con manchas rojizas o marrones). Autor: Pedro Redondo.

### Habas y judías

Se plantea un primer problema de denominación. Si bien los botánicos distinguen perfectamente entre la legumbre llamada *haba* o *Vicia faba* y la *judía* o *Phaseolus vulgaris*, términos establecidos por Linneo, no así los profanos. Ambas plantas herbáceas anuales tienen el fruto en vainas aplastadas. Las diferencias que existen entre ellas escapan a la gente común. Si algunos informantes

dicen claramente que la faba o haba es 'fruto de la Vicia faba', otros afirman que la faba o haba es o la 'alubia' o la 'judía' o, incluso, el 'fréjol'. De ahí, se puede comprender fácilmente que, no siendo botánico, la tarea de asignar un nombre común a estas plantas es complicada. Además, esos nombres difieren de comarca a comarca. Por otra parte, las denominaciones que reciben estas legumbres dependen de muchos factores, entre otros: el tamaño de la planta, el volumen, el color y la forma de las vainas y semillas. Veamos la distribución de dichas denominaciones en la provincia leonesa.

#### Habas:

La variante más común en León presenta la conservación de la /f-/ latina: *faba* (del latín *faba*, ídem), forma que la Real Academia Española (RAE) asigna solo a Asturias, pero que se documenta abundantemente en todo el noroccidente de la provincia (Bierzo, Omaña, Luna, Babia, Laciana, Valle Gordo, Palacios del Sil), llegando incluso hasta los Argüellos leoneses, mientras que en el rincón nororiental (zona de Oseja de Sajambre) se oye la variante con aspiración: *jaba*. En esta comarca oriental, las *jabas* pueden ser *prietas*: haba negra; *jabona de mayo* (es de mala calidad y se usa más como forrajera, es también *prieta*); *blancas*: *cuarentenas*, menudas y tempranas, y *fréjoles*, las trepadoras, cuya vaina se come. Las *habas* suelen ser *pintas* y son más redondas. La vaina recibe el nombre de *jaluga*.

A partir de aquí, bajando hacia la cuenca media del Esla, se oye la forma castellana *haba*. Dentro de las habas, hay muchas variedades. Algunos distinguen entre las *habas de arroz* o 'judías blancas de pequeño tamaño', llamadas también *arrocines* o *arrocinas* o, incluso, *canelas* o *canalines*; *habas de bildorao*, 'judías muy semejantes a las de *piñón*, pero más tardías'; *habas caballares*, 'alubias muy bastas, con forma de muela, que se emplean para fabricar un tipo de harina que sirve de alimento al ganado'; *habas blancas*, 'judías blancas'; *habas verdes*, 'judías cogidas en verde para comer también la vaina'; *habas curadas*, 'judías secas'; *habitots*, 'judías pintas'; *habas pintas* o *habas rucias*, 'judías con manchas rojizas o marrones'; *habas de piñón*, 'judías blancas de mayor tamaño que las semilargas y forma alargada'; *habas semilargas*, 'judías blancas también alargadas, de menor tamaño que las de piñón'; *habas rajonas*, 'habas pintas'; *habas cantudas*, 'una variedad de alubia, de gran tamaño y forma ligeramente cuadrangular'; *cantudas*, 'habas de gran tamaño que comen las personas' (mientras que la forma masculina *cantudos* se refiere a los 'titos blancos'). Sin embargo, en la mayoría de las comarcas leonesas la *cantuda* o el *cantudo* designan otra leguminosa, la 'almorta o muela'. A las 'habas grandes', las llaman *fabonas*,

*jabonas, habonas o fabotes*, según las comarcas y la finca sembrada de habas recibe los nombres de *fabal, habal o jabal*. Curiosamente, llaman *titos*, en la Cepeda Baja, a las 'habas de color oscuro, caqui o rojizo, según la variedad', mientras que esta palabra suele usarse para las 'almortas o muelas' o también para los 'guisantes'. En el noroccidente de León (Bierzo, Babia) utilizan las palabras *caxiga, caxigo, caxina* o *caxa* para designar la 'vaina en que están encerradas algunas simientes como las judías o las habas'.

Judías:

Para referirse a la 'judía', venida de América pero cultivada en gran cantidad en toda la península, se usa en León la palabra *fréjol* (o sus variantes: *fré-gol, fríjol, fréjul, fréxele, fréxelo*, etc.), voz que procede del latín *faseölus*, íd., y este del griego *φασηλος*, influ. por el mozárabe *brísol* o *gríjol*, 'guisante'. ¿A qué tipo de judía se refiere? De manera general, se trata de la 'judía verde', pero también se puede referir a la 'judía pinta' o 'judía de color, con pintas o manchas azuladas' e, incluso, a la 'alubia seca', según las zonas. En algún punto de la provincia llaman *frejolines* a una 'variedad de fréjoles blancos como las habas pero de forma redondeada como los fréjoles' y *habas de frejolillo* a otra clase de habas. La 'finca sembrada de fréjoles' recibe el nombre de *frejolar* en varias comarcas leonesas, palabra que no recoge la RAE. En las tierras maragatas utilizan asimismo el nombre de *batallo* (o *patallo*) blanco para designar la 'judía blanca'. Por otra parte, llaman también *vaina* a la 'judía verde' en algunas comarcas leonesas, si bien la RAE restringe este uso a Aragón, Asturias, Burgos, Navarra, P. Vasco y Rioja.



**Figura 2.** En León, la palabra fréjol puede referirse a la “judía verde”, pero también a la “judía pinta” o la “judía de color”. Autor: Pedro Redondo.



### Guisantes:

Para designar el guisante se usan en León varias voces: *arvejo*, *arveja*, *aluga*, *cantudo*, *tito* y *caxina*.

La RAE recoge *arvejo* con el significado de 'guisante', sin marca diatópica y localiza *arveja* (del latín *ervilia*) 'guisante' solo en América. En León son palabras muy corrientes bajo las variantes *arveicha*, *arbeju*, *arveyo*, *arvecho*, *arbei-chu*, *arbello*, *erbello*, según las comarcas. La forma femenina se documenta especialmente en el noroccidente y centro-oeste de León, así como en la Tierra de Aliste (Zamora), Andalucía, Canarias, Navarra, Álava y parece ser de uso general en América. La forma masculina (bajo las variantes citadas) se oye en todo el norte de León (desde el Bierzo hasta el rincón nororiental de la provincia), donde puede ser base de topónimos menores: *La Arveosa* (de *Arbeyosa*), 'tierras destinadas desde siempre a la siembra de arvejos'; en Asturias (*arveyu*, *arviyu*, *arvechu*); en la Montaña palentina y en Burgos. Para referirse a una 'planta gramínea parecida a la arveja' se emplean en León las formas *alverjaca*, *arvejaca*, *arbejaca*, *alberjaca*, *abrejaca*, *abrejacón*, *arvechacón*, *arbellaca*, voces no recogidas en el diccionario de la Academia. Algunas de estas variantes se documentan también en algún punto de Zamora (Toro), de Salamanca (Ribera del Duero) y en Canarias, mientras que en Asturias se oyen *arvejaca* o *arvehaca*.

Para designar un 'lugar sembrado de arvejos', se emplea en León la voz *arvejal* (recogida por la RAE sin notación dialectal) bajo las formas *arveichal*, *arvechal*, *arveyal*, *arbejera*. Son bases de topónimos: *Los Arvechales* (Orallo); *La Arbejera* (Tierra de la Reina); *El Arveyal* (Oseja de Sajambre), etc. Hay que destacar un dato interesante desde el punto de vista histórico. Esta voz aparece en la documentación medieval leonesa desde el siglo X: *in termino que dicitur Erbeliares* [año 953] en documento de Sahagún; *per penna Erueliosa* [año 1006] en documento de la catedral de León, etc. (Álvarez Maurín, 1994).

La voz *caxina* (der. de *caxa*, variante de *caja*) se usa en algunos puntos de las comarcas de Babia y Lacia para denominar el 'guisante o la arveja cuando están verdes en la rama'.

El término *aluga* también se refiere al 'arvejo', pero solo en Tierra de la Reina, donde designa, además, la 'paja de los arvejos ya sin granos'.

Si bien la voz *cantudo* suele designar la 'muela o almorta', ocasionalmente parece referirse al guisante, como, por ejemplo, en La Vid, Villasimpliz o Armellada de Órbigo.

En cuanto al *tito*, la Academia localiza el vocablo en Aragón con la acepción de 'guisante'. Ahora bien, si es cierto que existe en Aragón con este signifi-

cado, también está vivo en algunas comarcas leonesas, especialmente en la zona de los Oteros; en la Ribera salmantina y en algún pueblo de Palencia (Mazuecos de Valdejinete).

En la comarca nororiental de León, concretamente en Tierra de la Reina, usan el vocablo *berujo* (que no recoge la RAE) para referirse al 'montón de guisantes que se hace en las tierras para llevarlos en el carro a la era'.



**Figura 3.** El garbanzo no recibe ninguna denominación popular en la provincia leonesa. Autor: Pedro Redondo.

#### Almortas o muelas:

El nombre científico de esta leguminosa, con fruto comprimido, en vaina con semillas en forma de muela, es *Lathyrus sativus*, utilizada antiguamente para hacer gachas. Su nombre común depende del sitio. Concretamente, en León, se recogen, además de *almorta* o *muela*, voces como *tito*, *cantuda*, *pedrete*, *pedrella*, *pedruela* o *pedruelo*.

En cuanto a *muela* (registrada por la RAE), se emplea especialmente en el sur de León: Tierras de Campos y bañezanas. Fuera de León, se usa también en algunas comarcas zamoranas, en Palencia, Rioja y Navarra.

En el noroccidente de la provincia (Bierzo, Babia, Lacia) se documentan voces no recogidas por la RAE, tales como *pedruela*, *pedruelo*, *pedrolo*, *pedrol*, *pedrella* o *pedrete*. *Pedruelu* y *pedrete* se oyen asimismo en Asturias, mientras que en Galicia usan las formas *pedrol* o *pedrolo*.

Una de las denominaciones más habituales en León es *cantuda* (a veces, *cantudo*), no recogida por la RAE. Dicha denominación se debe, tal vez, a la forma de la planta en forma de canto. Cubre prácticamente toda la provincia. Según algunos informantes, era muy común antes y era un pienso extraordinario para las reses vacunas y para el cebo de los cerdos. Además, de esta leguminosa se

obtenía la harina de gachas. Se documenta asimismo en Benavente.

Por lo que se refiere al *tito* (voz recogida por la RAE), ya se ha visto que puede designar el 'guisante' u otra leguminosa, pero también la 'almorta'. Tiene un origen onomatopéyico, tomado del lenguaje infantil, al igual que otras formas con raíz /tit-/; con carácter algo distinto se creó en castellano *tito* como voz infantil, para designar, entre otros, objetos vegetales como los que los niños emplean para sus juegos. Hay que subrayar que el *tito* se usa asimismo para referirse al 'hueso' o 'pepita' de la fruta (cereza, pera o manzana), acepción que la RAE localiza solo en Salamanca, Valladolid y Zamora. En algunas comarcas leonesas, los *titos* aparecen en una canción popular que acompaña un baile típico. Según parece, su origen proviene del apaleamiento de los *titos*, haciendo el movimiento de adelante atrás: *los titos de Corbillos / son duros de cocer / se echan a las doce / y cuecen a las tres*. La palabra *tito* se utiliza asimismo en la expresión *más negro que un tito o negro como un tito*, para ponderar lo moreno que está alguien a causa del trabajo en el campo. Con la acepción de 'almorta' se documenta en parte de León, especialmente en el sur, a veces bajo la forma *tito muela*. Pese a ser hoy un cultivo casi desaparecido, esta legumbre fue uno de los componentes básicos en la dieta alimenticia. Según J.R. Morala (1990), “en la documentación eclesiástica figuran por lo general en todas las relaciones de diezmos que gravaban los productos agrícolas, y en los libros de tazmías figuran los titos entre las especies menores, las legumbres”. El 'sitio sembrado de titos' se llama *tital* en el este y sur de León, donde es base de algún topónimo menor, así en los Oteros: *El Tital, Los Titales*.

#### Altramuces:

El altramuz, planta herbácea anual, del género *Lupinus*, es una legumbre que se sembraba todavía no hace muchos años y habitualmente destinada a los cerdos. Su nombre popular más común es *chocho*. Parece tratarse de una voz infantil de creación expresiva, con la idea de 'objeto blando' (como lo es el altramuz empapado de agua). Se documenta en algunas comarcas del sur de León. *Chocho*, con el significado de 'altramuz' se oye también en Salamanca, si bien designa aquí también cualquier clase de legumbres; en Extremadura, Andalucía y Canarias.

En el Bierzo, llaman *fabaslobas* al 'altramuz azul', cuyo fruto se encuentra en vaina con semillas moteadas; en el sur de León, *habayobas* o *haballobas* (además de *titones*). En las comarcas zamoranas de Sanabria y Carballeda usan las variantes *fabaloba* o *jabayoba* o *jaballoba*.

### Garbanzos:

Llama mucho la atención constatar que el *garbanzo* o *Cicer arietinum* no recibe ninguna denominación popular en la provincia, con la excepción de *gari-galo* en tierras de la Valduerna y Valdería. Tal vez será porque, como escribe Pío Font Quer en *El Dioscórides renovado* (2001): “No parece que sea menester ni describir ni dibujar esta planta, porque quien desee curarse con garbanzos los hallará auténticos y a buen precio aun ignorando cómo es el vegetal y dónde están los garbanzales, ya que esta especie no es de esta tierra, ni se sabe a ciencia cierta de qué país proviene. Pero se cultiva desde muy antiguo y frecuentemente en la Península Ibérica, sobre todo en las comarcas centrales y occidentales de la misma”.



**Figura 4.** *Lenticha* o *denticha* son palabras empleadas en Babia y Laciana para denominar a las lentejas. Autor: Pedro Redondo.

### Lentejas:

Lo mismo ocurre con las *lentejas* (del latín *lentīcula*, íd., diminutivo del sinónimo *lēns*, *lentis*). La analogía está motivada por el hecho de que una semilla de lenteja tiene una curvatura similar a la de una lente biconvexa. No recibe esta legumbre ninguna denominación particular en León. Aparece recogida bajo las variantes *lenticha* o *denticha* en la zona de Babia, Laciana y es base de un topónimo en Torrestío: El *Dentichal* de las Brujas. Andrés de Laguna, en sus comentarios al Dioscórides (1566/1983), dice de ellas: “Las lentejas son un género de legumbre, tan vulgar y conocido en España, que no hay médico en toda ella que en tomando el pulso al enfermo de cualquiera enfermedad que esté malo, no le ordene luego un caldo de lentejas y manzanas asadas”. Por ser una legumbre tan común, según deducimos de ese texto, quizá por ello no recibe nombre especial.

### **Bibliografía**

Álvarez Maurín, M.P. 1994. *Diplomática asturleonese. Terminología toponímica*. Universidad de León.

Dioscórides, P. 1566/1983. *Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos*, traducida del griego al castellano y muy ampliamente comentada por Andrés de Laguna. Ediciones de arte y bibliofilia. Madrid.

Esgueva, M. 2001. *Las plantas silvestres en León. Estudio de dialectología lingüística*, UNED, Madrid.

Font Quer, P. 20013. *Plantas medicinales. El Dioscórides renovado*. Península. Barcelona.

Le Men Loyer, J. 2002-2012. *Léxico del leonés actual*. 6 vols. Centro de Estudios e Investigación “San Isidoro”, Caja España de Inversiones, Archivo Histórico Diocesano, Colección “Fuentes y Estudios de Historia Leonesa”, números 93, 94, 95, 96, 128 y 133.

Miranda Pérez-Seoane, J. 1985. *Contribución al estudio de la toponimia menor de la Cuenca Alta del Esla (León)*, 3 vols. Institución “Fray Bernardino de Sahagún”. Excma. Diputación Provincial de León.

Morala Rodríguez, J.R. (1990). *Toponimia de la comarca de los Oteros (León)*. Diputación provincial de León.

## BAÚL DE LA CIENCIA

### Estudio de la precipitación mediante disdrómetros

María Fernández Raga

Departamento de Química y Física Aplicada. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

[maria.raga@unileon.es](mailto:maria.raga@unileon.es)

A lo largo de este trabajo se abordan varios aspectos relacionados con las medidas de las gotas que llegan a la superficie terrestre, determinadas mediante el uso de los disdrómetros ópticos. Se analizan también las incertidumbres y utilidades que estos datos pueden tener a nivel práctico.

Se habla primeramente de la importancia del conocimiento del número y tamaño de las gotas de lluvia para poder determinar aspectos tan diferentes como la dispersión de la señal de las ondas de radio o la determinación de la erosión del suelo por salpicadura. Así mismo, también se aborda la historia de la medición de las gotas, de los principales hallazgos al respecto, así como del funcionamiento de los disdrómetros ópticos. Los disdrómetros son los actuales sistemas de medición automática terrestre del número, tamaño y velocidad de las gotas de lluvia, y gracias a ellos se pueden calcular variables características de la precipitación como son la reflectividad, la energía cinética y el momento lineal en cada minuto de lluvia. A partir de los resultados obtenidos, los profesores de la Universidad de León han caracterizado los distintos episodios de precipitación con estos aparatos, y se han comparado cronológicamente los resultados obtenidos tanto en una misma zona como en áreas localizadas en puntos diversos. Así mismo también se han realizado diversos estudios de erosión de suelo y se han analizado posibles relaciones existentes entre las características de la lluvia y el tipo de tiempo determinado para cada uno de los días de precipitación.

**Palabras clave:** disdrómetro, tipos de tiempo, distribución de tamaños de gotas de lluvia, erosión por salpicadura, energía cinética.

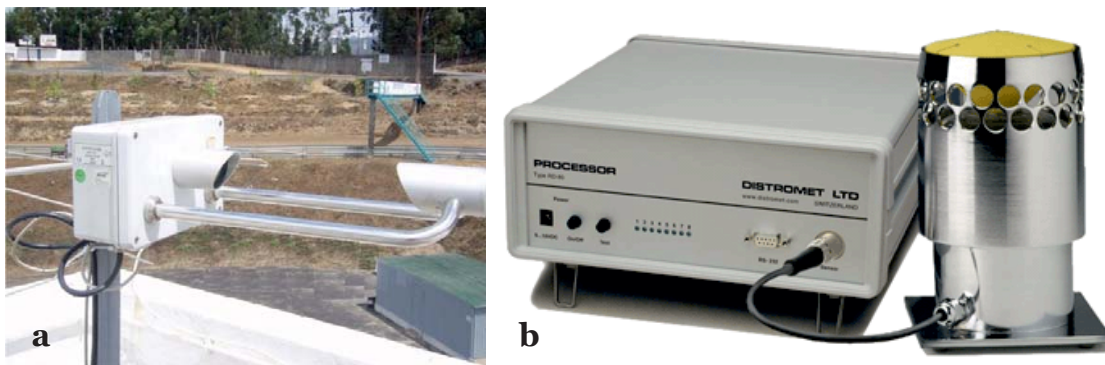
¡¡Disdrómetro!! Es probable que no hayas escuchado muchas veces en tu vida esta palabra, y sin embargo, es un instrumento que cada vez cuenta con un mayor número de aplicaciones que pueden ser tan diversas como estudiar la contaminación ambiental, la erosión de suelos, o las interferencias de las ondas de radio...

Un disdrómetro es un aparato que sirve para determinar tanto el tamaño como la velocidad de las gotas de lluvia que precipitan, es decir, puede determi-

Forma de mencionar este artículo: Fernández, M., 2016, Estudio de la precipitación mediante disdrómetros. AmbioCiencias, 14, 60-73. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

nar la distribución de tamaños de gotas de lluvia. Y es esta distribución de tamaños de gotas cambiante tanto temporal como espacialmente la que resulta muy interesante para poder aplicarla en los campos antes mencionados.

Existen principalmente dos tipos de disdrómetros; los de impacto (**Fig. 1, a**), que determinan los tamaños mediante el momento asociado al impacto de la gota (es decir, como un tambor) y también existen los denominados disdrómetros ópticos, que determinan los tamaños de gotas midiendo la interrupción de la señal de láser producida por las gotas al atravesar un determinado área muestral (**Fig. 1, b**). En mi tesis se ha trabajado básicamente con dos tipos de disdrómetros ópticos: el disdrómetro *Thies Laser Precipitation Monitor*, y el disdrómetro *Ground Based Precipitation Probe*.



**Figura 1. a)** Imagen del disdrómetro Joss-Waldvogel de impacto (Disdromet, 2011); **b)** disdrómetro óptico *Laser Precipitation Monitor Thies Clima (LPM)*.

Gracias a estos disdrómetros se han podido determinar los tamaños de las gotas de las precipitaciones estudiadas, y se ha procedido al cálculo de variables características de la precipitación como son la reflectividad, la energía cinética y el momento lineal en cada minuto de lluvia. A partir de los resultados obtenidos con estos dos aparatos fue posible caracterizar los distintos episodios de precipitación, comparar cronológicamente los resultados obtenidos tanto en una misma zona como en áreas localizadas en puntos diversos, realizar estudios de erosión de suelo e incluso analizar posibles relaciones existentes entre las características de la lluvia y el tipo de tiempo determinado para cada uno de los días de precipitación.

El tipo de precipitación mayoritario en nuestras latitudes es la lluvia, y son varios los parámetros interesantes a la hora de describirla, como la precipitación acumulada o la intensidad de precipitación. La detección de estos parámetros es sencilla, pero si conseguimos determinar los tamaños y velocidades de las gotas,

esto permitirá el cálculo de otras muchas variables como pueden ser el tamaño medio de gota, la reflectividad, la energía cinética y el momento lineal, variables todas ellas de gran interés a la hora de caracterizar la naturaleza y efectos de la precipitación.

A lo largo de este trabajo se abordan varios aspectos relacionados con las medidas de las gotas que llegan a la superficie terrestre, determinadas mediante el uso de los disdrómetros ópticos. Se analizan también las incertidumbres y utilidades que estos datos pueden tener a nivel práctico.

Los principales objetivos de la tesis que aquí se presenta fueron:

1. Realizar un estudio bibliométrico de las publicaciones sobre trabajos de investigación en los que se ha utilizado el disdrómetro como instrumento de medida.
2. Desarrollar y aplicar un método de calibración para el disdrómetro y calcular los errores que se puedan producir en la toma de medidas.
3. Determinar, mediante el disdrómetro, la microestructura de la precipitación en León. Para ello se calculan los parámetros característicos de la distribución reflectividad-intensidad (conocida como distribución *Z-R*), los tamaños de las gotas, las reflectividades e intensidades, y las energías cinéticas tanto de forma anual como estacional. Se analizó también su relación con los distintos tipos de tiempo.
4. Comparar las características de las precipitaciones ocurridas en dos localizaciones que pertenecen a climatologías diferentes: León y Aveiro, pero que se clasifican dentro de un mismo tipo de tiempo.
5. Realizar un estudio comparativo de distintos equipos de medida de precipitación en el día más lluvioso de 2006.
6. Determinar la metodología a seguir para evaluar el proceso de erosión por salpicadura originado en un área quemada a lo largo del tiempo. Analizar las características de la lluvia y calcular la erosión por salpicadura que dicha lluvia esta produciendo.
7. Evaluar el efecto del aterrazado pre-incendio y post-incendio como aplicación práctica del desarrollo de la metodología de estudio de la erosión por salpicadura.

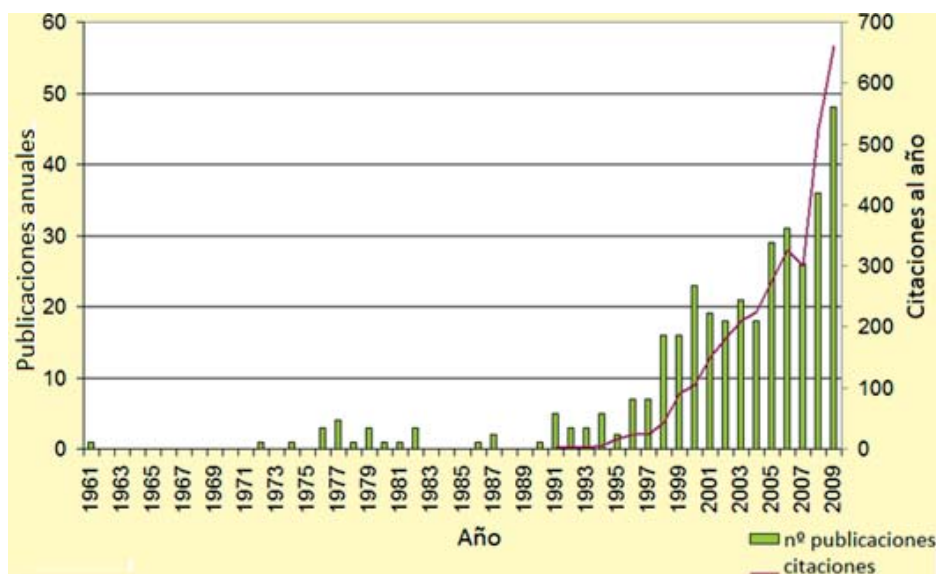
### **Estudio bibliométrico de las publicaciones que utilizan disdrómetro**

Respecto al primer objetivo, se ha realizado una revisión bibliográfica para comprobar el uso del disdrómetro en la investigación científica, a partir de las publicaciones desde su aparición hasta la actualidad. Se ha utilizado como base



de datos las referencias bibliográficas que aparecen en la *Web of Science* (del *Institute for Scientific Information*). En el buscador se ha introducido la palabra "*disdrometer\**", donde el asterisco sustituye a cualquier letra o grupo de letras, y la búsqueda se ha realizado en: a) *palabras clave*, b) *título* y c) *abstract* de cada una de las publicaciones.

Se ha realizado un análisis de los resultados atendiendo a diferentes criterios: países pioneros en la investigación con disdrómetro; fecha de aparición del primer artículo; evolución del número de artículos publicados; conceptos estudiados y líneas de investigación desarrolladas en cada artículo, autores principales y, por último, un análisis bibliométrico de las revistas en las que se han publicado dichos artículos. Se puede concluir que el 47 % de las publicaciones sobre disdrómetro se concentra en dos revistas: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* y *Journal of Applied Meteorology*. También estas dos revistas concentran la mayoría de las citas. La evolución del número de publicaciones sobre disdrómetros y de los documentos que los citan ha sido siempre creciente, aunque puede esperarse que aumente aún más en la década presente, a juzgar por la tendencia observada. De hecho, en los últimos 20 años, se ha pasado de una media de tres publicaciones anuales (**Fig. 2**), a casi 50 publicaciones en el 2009 (con un aumento de aproximadamente 2,5 publicaciones por año). El autor con el mayor número de artículos que utilizan disdrómetros es Bringi, con 28 artículos. Sin embargo, Tokay es el autor de los artículos con mayor impacto.



**Figura 2.** Número de publicaciones y citas por año en relación con los artículos en los que se usa el disdrómetro.

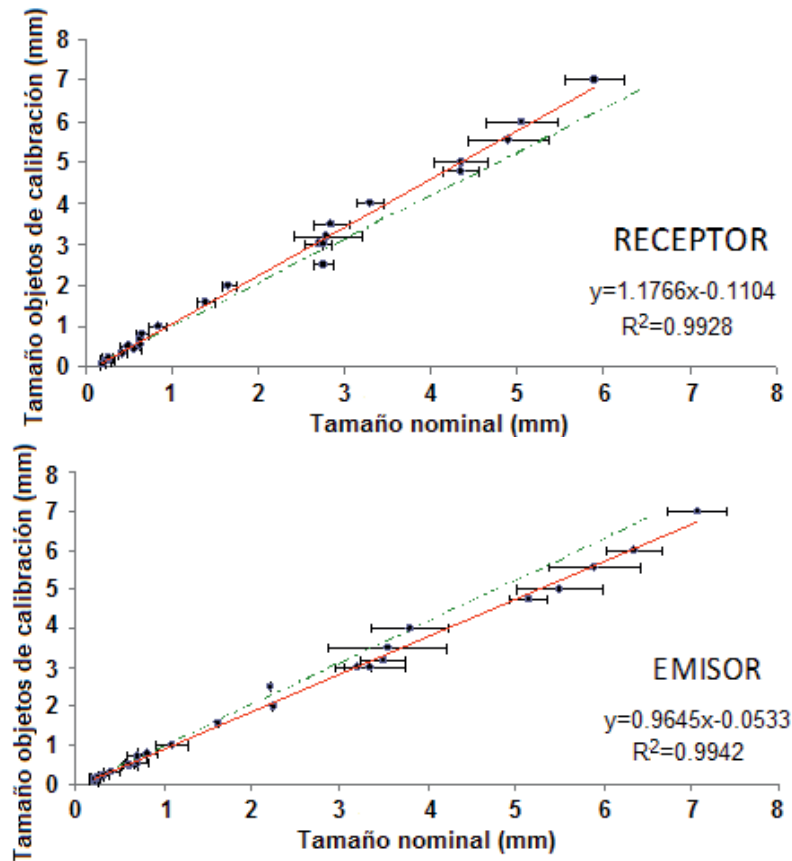
Respecto a los conceptos centrales de los documentos publicados, se ha observado una evolución en los temas de dichos trabajos. Los principales campos que hacen uso de los disdrómetros son, sobre todo, la meteorología, hidrología, modelización de parámetros de lluvia y erosión de suelo. La palabra clave más repetida es "*drop size distribution*", con 308 apariciones en artículos publicados con disdrómetro. Así, en la década de los 60 se produjo la irrupción de los primeros artículos con disdrómetro, dedicados a la presentación, diseño y posibles mejoras del mismo. En la década de los años 70 la mayoría de los artículos versaban sobre comparaciones entre dos modelos de disdrómetros (de impacto u ópticos), o bien eran artículos que comparaban la eficacia de los disdrómetros y los pluviómetros. En la década de los 80 se procedió a comparar los datos del radar con los datos recogidos en superficie por el disdrómetro, con aplicaciones al estudio de tormentas tropicales, y a calcular la evolución de la reflectividad. La década de los 90 aportó como novedades principales los estudios basados en oscilaciones de las pequeñas gotas, y el desarrollo de los primeros modelos teóricos sobre las distribuciones de tamaños de las gotas, con ayuda de radares polarizados.

Sin embargo, el verdadero desarrollo de aplicaciones distintas de lo estrictamente meteorológico se ha producido a finales de la década de los 90 y principios del siglo XXI. Se han perfilado distintos campos de la investigación para los cuales la información detectada por este instrumento puede resultar crucial, como por ejemplo en la erosión de suelos, en la modelización hidrológica o de catástrofes, o incluso en la atenuación de las señales de telecomunicación.

### **Desarrollo de un método de calibración del disdrómetro**

Por lo que respecta al segundo objetivo, se ha abordado el proceso de calibración del disdrómetro. La calibración se ha utilizado como método para evaluar la equivalencia entre datos de tamaños de las gotas obtenidos mediante los dos disdrómetros que se han utilizado en esta tesis con datos de los tamaños reales de las gotas medidas. La calibración ha sido realizada comparando valores conocidos de tamaños de esferas y partículas de arena con los tamaños estimados por el disdrómetro. Ambas comparaciones se han realizado para un amplio rango de valores de forma que se cubriese todo el espectro de tamaños medidos por el disdrómetro. Al realizar un ajuste lineal se obtiene un coeficiente de correlación de Pearson muy alto (de 0,997), y la incertidumbre aumenta a medida que aumenta el tamaño de la gota, especialmente por encima de los 3 mm, aunque nunca de forma significativa (**Fig. 3**). Esta discrepancia se produce en unos ca-

tos por minusvaloración y en otros por sobrevaloración de los tamaños reales de las esferas. Además, debe mencionarse que las gotas superiores a 3 mm son poco frecuentes en latitudes como las de la zona estudiada en la provincia de León.

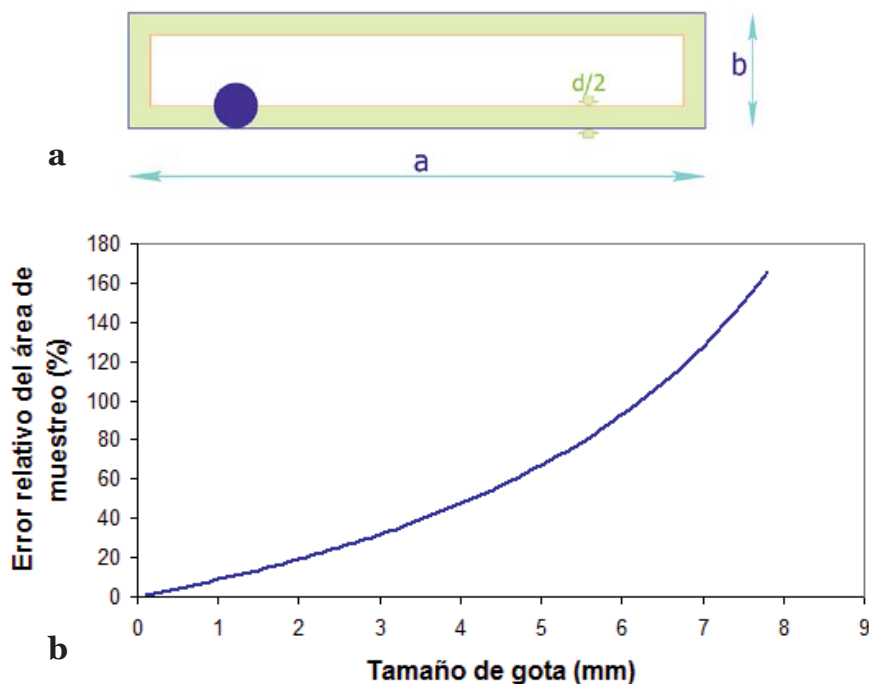


**Figura 3.** En trazo continuo, rectas de calibración del disdrómetro *LPM* para el lado del emisor y del receptor. Las barras de error representan la desviación estándar de las clases medidas por el disdrómetro. La línea de trazos representa la media entre la calibración obtenida por el lado emisor y el receptor.

A partir de 1 mm de diámetro, las gotas van perdiendo su forma esférica para ir acercándose a una forma elipsoidal. Este aspecto ha sido ampliamente tratado por muchos autores en la bibliografía. Nuestra aportación ha sido adaptar la ecuación de Brandes, que describe esta deformación de la gota, a nuestra situación particular. Se ha desarrollado una corrección del tamaño de las gotas mayores para evitar sobreestimar su volumen hasta en un 40 % de su valor real.

Se han analizado también los posibles errores procedentes de la eliminación de gotas que caen en el límite de muestreo del disdrómetro (**Fig. 4**). Del área de muestreo van a depender las posteriores variables calculadas, como pueden ser la intensidad de precipitación *R*, que puede variar incluso en más de un 50 %

para las lluvias de gotas superiores a 6 mm; o el cálculo de la variable factor de reflectividad  $Z$ , que también puede tener un error de hasta la mitad de lo calculado dependiendo de si se usa un área de muestreo fija o variable con el tamaño de las gotas que precipitan. Sin embargo la relación  $Z$ - $R$  parece ser poco dependiente del área de muestreo, porque se compensan los errores de  $Z$  y de  $R$ .

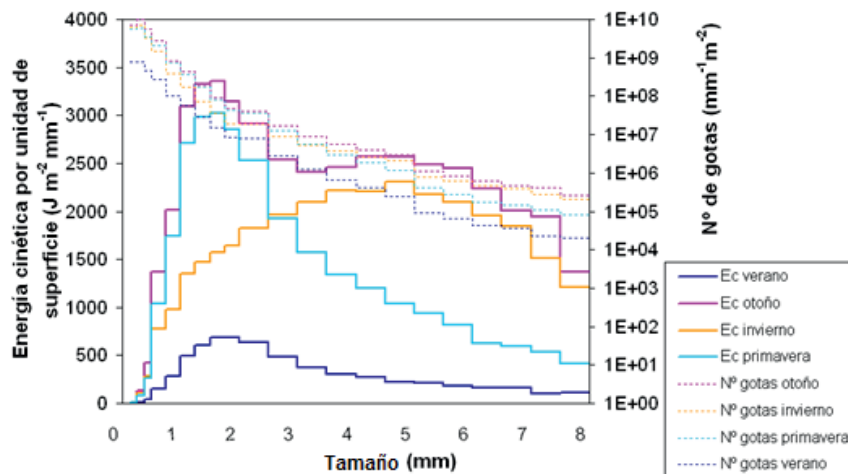


**Figura 4.** a) geometría del área de muestreo efectiva para un cierto tamaño “ $d$ ” de gota a partir del área de muestreo nominal “ $ab$ ”; b) Error relativo del área de muestreo dependiendo del tamaño de gota.

### Uso del disdrómetro para la caracterización de la precipitación de León

En cuanto al tercer objetivo, se ha utilizado el disdrómetro óptico para la caracterización de la precipitación en León. Para ello se han recogido los datos de las lluvias correspondientes a un periodo de dos años y 10 meses de duración (desde marzo de 2006 a diciembre de 2008) sobre la ciudad de León. Esta campaña de datos ha permitido determinar la duración de los eventos ocurridos, tanto anual como estacionalmente, y comprobar cómo pueden establecerse diferencias estacionales, que señalan al invierno como la estación con los episodios de lluvias más largos, de 40 minutos en promedio, y al verano como la estación de lluvias más cortas, con 12 minutos de duración media, teniendo en cuenta que la varianza en la mayoría de los casos dobla el valor de la media. El estudio, además,

señala al otoño como la estación donde se producen los minutos de intensidad más elevada, así como también donde se concentran los máximos de energía cinética (Fig. 5). Estos máximos son debidos sobre todo al aumento de las gotas de tamaños comprendidos entre los 1,5 y los 2,5 mm de diámetro.



**Figura 5.** Energía cinética total por unidad de superficie según tamaño de gota y estación climática durante el periodo de estudio.

También se han determinado para León los parámetros  $a$  y  $b$  característicos de las relaciones anuales  $Z-R$ , del tipo  $Z=a \cdot R^b$ , donde  $R$  está en mm/h y  $Z$  en  $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$ . Los valores obtenidos para  $a$  oscilan entre 151 y 254, y para  $b$  entre 1,4 y 1,6.

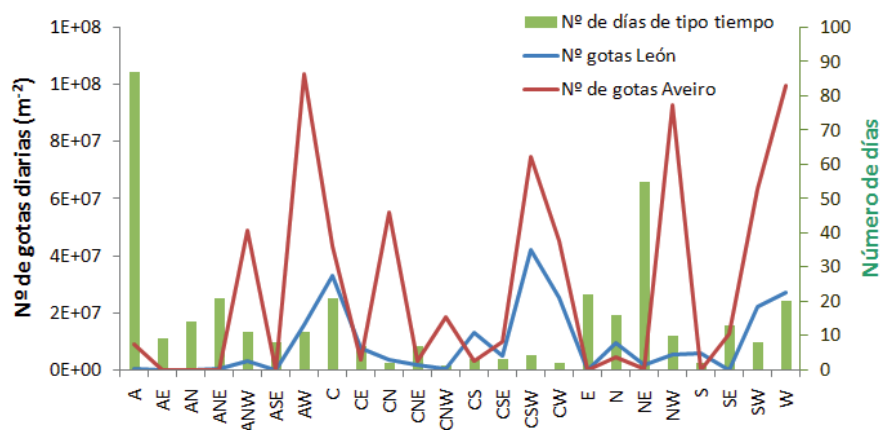
La comparación realizada entre los datos recogidos de la lluvia, y la clasificación de tipos de tiempo de Lamb, señala que los tipos de tiempo más lluviosos son los de circulación del norte y los que tienen alguna componente del oeste ( $NW$ ,  $W$  y  $SW$ ), así como también el ciclónico.

### Comparación de las precipitaciones ocurridas en Aveiro y León

Para poder llevar a cabo el **cuarto objetivo** se analizaron los datos recogidos simultáneamente por dos disdrómetros situados en dos puntos geográficos, Aveiro (Portugal) y León (España), cuyos resultados fueron posteriormente comparados. El interés radica en el hecho de que ambas localizaciones comparten la misma clasificación de tipo de tiempo de Lamb, a pesar de que, sin embargo, pertenecen a dos climas diferentes, oceánico y continental. La comparación fue realizada a lo largo de algo más de un año (desde mayo 2007 a junio 2008), y señala a Aveiro, la ciudad de clima oceánico, como aquella que presenta lluvias más intensas, más copiosas, con un mayor número de gotas e incluso de una mayor duración (10 minutos más de media que la duración en León).

En los parámetros calculados para la relación  $Z-R$  en Aveiro y en León, se observa que el parámetro  $a$  pasa de ser 191 en León a 101 en Aveiro, mientras que el parámetro  $b$  pasa de 1,74 a 1,59. Los valores de Aveiro triplican a los de León tanto para la energía cinética como para el momento lineal, donde el tamaño medio de las gotas es de 0,45 mm para Aveiro y algo menores, de 0,37 mm para León, lo que también explicaría la diferencia encontrada entre los momentos lineales y las energías cinéticas.

La comparación de los tipos de tiempo en Aveiro y León suscribe lo descrito para León: son los tipos de tiempo provenientes del oeste los que más probabilidades de lluvia presentan para ambas localizaciones. Particularmente destaca en ciclónico del suroeste (CSW), con casi 17 mm de precipitación diaria media en Aveiro y casi 8 mm en León (**Fig. 6**).



**Figura 6.** Frecuencia de los tipos de tiempo y número de gotas diarias registradas en León y en Aveiro. Las letras inferiores implican los distintos tipos de tiempo indicados por las siguientes abreviaturas: A significa anticiclónico, C es ciclónico, E es Este, N es Norte, W es Oeste y S es Sur. Los primeros 7 tipos de tiempo serían anticiclónicos, girando como un anticiclón, los siguientes 9 serían ciclónicos, caracterizado por un giro opuesto y los últimos 8 serían los denominados como tipos de tiempo puros o con una determinada dirección.

Al ajustar el espectro de tamaños de gotas a la densidad de probabilidad gamma (que es una distribución de probabilidad continua que se define como

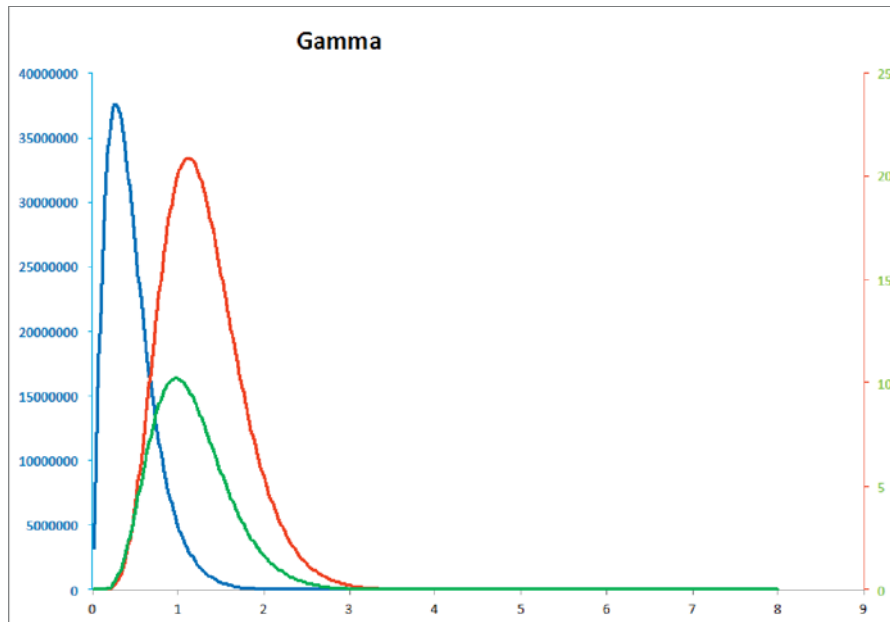
$$f(x) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} \exp(-\beta x)}{\Gamma(\alpha)}$$

donde  $\Gamma$  es la función gamma de Euler o factorial, cuya definición es:

$$\Gamma(s) = \int_0^\infty t^{s-1} \exp(-t) dt$$

y sigue una forma similar a la de la **Fig. 7**), se observa que los parámetros de la distribución en cada tipo de tiempo son independientes del lugar (Aveiro o

León), salvo en los tipos de tiempo de componente este, donde la moda depende del lugar.



**Figura 7.** Ejemplo de forma que adquiere una distribución gamma.

En los tipos ciclónico noreste (*CNE*) y sureste (*SE*) la moda es unos 0,3 mm mayor en Aveiro que en León. En los tipos anticiclónico del noreste (*ANE*) y ciclónico del este (*CE*) la moda es 0,2 mm superior en León. En todos los demás casos, la diferencia es menor de 0,15 mm (y en el 70 % de los tipos de tiempo, es menor de 0,1 mm).

### Estudio comparativo de equipos de medida de precipitación

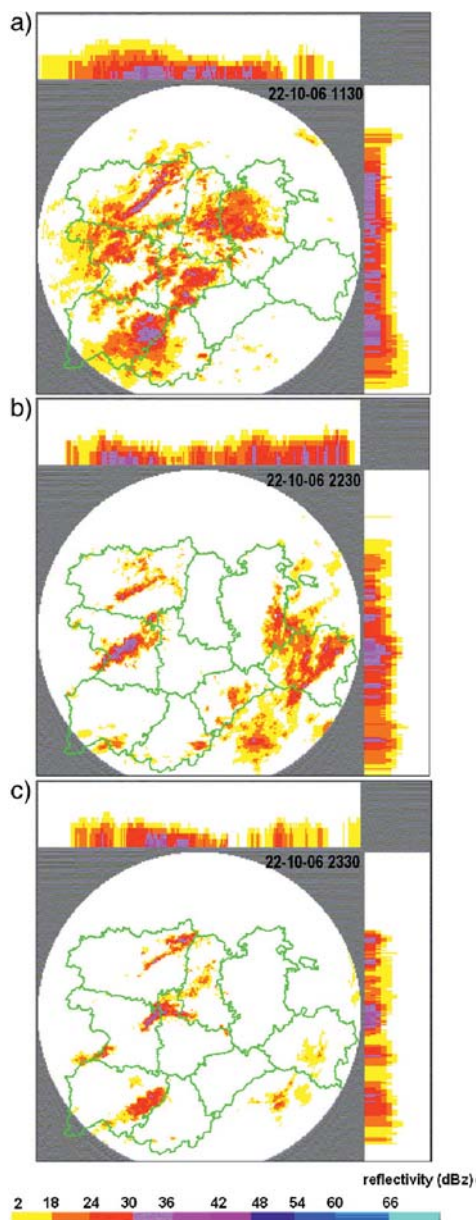
Con respecto al **quinto objetivo**, se abordó la utilización del disdrómetro junto a una serie de instrumentos para estudiar el día más lluvioso de 2006 en León. El objetivo fue analizar la situación que presentó la atmósfera durante 24 horas. Se utilizaron diferentes técnicas (situación sinóptica, imágenes de satélite, radiosondeo, imágenes de radar meteorológico) para establecer las condiciones meteorológicas que condujeron a este extremo de precipitación. También se estudió la correspondencia entre el estado de la atmósfera y las características de la precipitación registrada en el suelo, medida con pluviómetro y disdrómetro. De la integración de las técnicas utilizadas se concluyó que para no perder información en el análisis de los tipos de nubes que generan la precipitación, se deben llevar a cabo observaciones simultáneas mediante equipos de meteorología y productos de los satélites. Además, se encontraron unas diferencias en las re-

flectividades proporcionadas por el radar y el disdrómetro, en un rango entre 7 y 10 dBZ (es el decibelio de reflectividad que se define como 10 veces el logaritmo de la relación con el eco de una gota estándar de 1 mm de diámetro ocupando el mismo volumen rastreado) superiores en las medidas del suelo con el disdrómetro. Una de las causas puede ser la distancia existente entre el punto de ubicación de cada uno de los instrumentos, y también, que los volúmenes muestreados por cada uno de los aparatos son diferentes.

Además, las relaciones  $Z-R$  obtenidas para los episodios de la mañana y de la noche fueron distintas, por lo que el tipo de precipitación fue también diferente. Usando las relaciones  $Z-R$ , el tipo de precipitación convectiva y estratiforme no puede ser específicamente identificada debido a que depende del criterio tomado. De cualquier modo, de acuerdo con muchos autores, la precipitación

más intensa, que se registró durante la mañana, tenía claramente características de lluvia convectiva. Esto además coincide con el tipo de nubes que dominaron por la mañana. Por la noche, sin embargo, el nivel de desarrollo convectivo fue menor. En resumen, el carácter convectivo o estratiforme de la precipitación es muy variable dentro de un mismo día, por lo que es necesario hacer valoraciones en la menor escala temporal posible.

Por último, se estudió la distribución de tamaños de las gotas de ambos episodios. La principal diferencia encontrada ha sido que durante el episodio de naturaleza más convectiva, el máximo tamaño de gota registrada ha sido mayor. Con el radar también se obtiene mayor altura del *eco top*, o techo de las nubes durante el episodio de la mañana (**Fig. 8**). Sin embargo, los máximos tanto de intensidad de precipitación como del volumen total de precipitación fueron superiores durante el episodio de la noche.



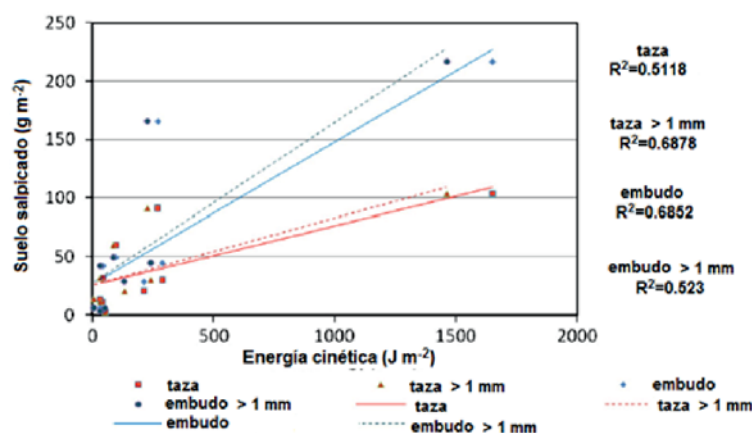
**Figura 8.** Imágenes CAPPI del radar AEMET a las **a)** 1130, **b)** 2230 y **c)** 2330 UTC (Coordinated Universal Time) sobre la zona de estudio. Fuente AEMET



### Determinación de la erosión por salpicadura

En relación con el **sexto objetivo**, se procedió al diseño de una metodología de muestreo para estudiar la erosión por salpicadura en una plantación de eucaliptos aterrazada en Soutelo, en la parte noreste de Aveiro, en Portugal. Utilizando el disdrómetro, se calcularon una serie de características de la lluvia, que fueron posteriormente comparadas con las tasas de erosión por salpicadura. Las mediciones se realizaron desde mayo a septiembre del 2007, utilizando para ello un disdrómetro óptico, un pluviómetro y dos tipos distintos de aparatos de medición de erosión (10 del modelo taza y 10 del modelo embudo).

También se realizó el análisis de tipos de tiempo de Lamb, que coincidió en indicar cómo los cuatro tipos de tiempo que contienen un componente del oeste producen mayor precipitación y energía cinética, y por lo tanto, un mayor poder erosivo. La relación entre la erosión por salpicadura y varias características de la lluvia fue analizada de forma preliminar, debido a que tan sólo se utilizaron nueve periodos de muestreo de salpicadura. Sin embargo, se aprecian correlaciones significativas entre el aumento de la erosión por salpicadura y variables como el incremento de la precipitación total, el incremento de la energía cinética total y el de la intensidad de precipitación. Se consiguió mejorar ligeramente esta correlación mediante el cálculo de un modelo de erosión integrando varios parámetros de la lluvia. Los dos sistemas de muestreo de salpicadura muestran un alto grado de concordancia; sin embargo es el modelo de embudo el que parece resultar más apropiado a la hora de evitar la pérdida de muestra de suelo salpicado (**Fig. 9**).



**Figura 9.** Relación entre el suelo salpicado y la energía cinética de la lluvia para tazas y embudos. Se indican las rectas de regresión y los coeficientes de correlación de Pearson para todos los casos y para gotas superiores a 1 mm.

### Estudio del efecto del aterrazado

Por último, para desarrollar el **séptimo objetivo**, se llevó a cabo un seguimiento durante 8 meses de la erosión por salpicadura en tres parcelas sometidas a aterrazamiento, aunque una de ellas previa a un incendio, y las otras dos posteriores al incendio.

La evaluación del impacto del tratamiento en dichas parcelas se realizó mediante la instalación de dos sistemas distintos cuantificadores de erosión por salpicadura, las tazas y los embudos (**Fig. 10**). Posteriormente se procedió al análisis de los datos de salpicadura recogidos durante los 17 periodos de muestreo junto con los datos meteorológicos recogidos durante cada uno de estos periodos.

Los resultados señalan que el tratamiento de aterrazado posterior al incendio induce a una menor estabilidad de los agregados superficiales del suelo, por lo que se producen mayores tasas de erosión por salpicadura. El sistema de muestreo de los embudos recoge el triple de suelo salpicado que el sistema de tazas, aunque ambos sistemas correlacionan adecuadamente con los parámetros de meteorología.



tazas, aunque ambos sistemas correlacionan adecuadamente con los parámetros de meteorología.

**Figura 10.** Detalle de medidores de salpicadura en terraza en Soutelo.

Espero que los resultados encontrados sirvan para enriquecer la ciencia, y ayude a algún joven investigador a descubrir nuevas aplicaciones para los disdrómetros que ayuden a la mejora de la sociedad.

Y por último aprovecho esta oportunidad para agradecer este resultado a mis compañeros del Departamento de Química y Física Aplicada, que me enseñaron, animaron a seguir y compartieron muchas tardes de esfuerzo y dedicación. Sin dejar de destacar el enorme esfuerzo de mis directores D. Roberto Fraile Laiz, Doña Amaya Castro Izquierdo y Doña Elena Marcos Porras. Gracias a sus

conocimientos, su paciencia con esta pobre neófita investigadora, y a su generosidad dedicándome horas de trabajo he podido llevar a término este trabajo. Al final, el esfuerzo consigue que la ciencia avance sobre cimientos sólidos. ¡Muchas gracias por el interés recibido por mi trabajo!



María Fernández Raga es Licenciada en Ciencias Ambientales, Grado en Ingeniería Forestal y Doctora por la Universidad de León, realizando su tesis doctoral en Física Aplicada.

Forma parte del grupo de Investigación de Excelencia GR 320 de la Universidad de León, y del Grupo de Innovación docente IDEAS. Es miembro de varias de las Asociaciones Internacionales de Investigación la European Geosciences Union (EGU), y socia y co-fundadora de FUEGORED asociación internacional de estudio de los Efectos del Fuego, así como socia fundadora de la asociación de premios Nacionales “Facultad Invisible”.

Ha diseñado, puesto a punto y publicado 2 sistemas novedosos de medida de la erosión por salpicadura, que posteriormente han sido utilizados por diferentes autores, y ha iniciado la utilización del disdrómetro óptico para la medición de erosión por salpicadura.

En su carrera ha sido galardonada con varios premios: “Premio Extraordinario de Doctorado”, “Tercer premio Nacional a la Excelencia Académica”, “premio Outstanding Young Scientist Grant” y “Premio Fin de Carrera”. Es actualmente docente del Departamento de Química y Física Aplicada de la Universidad de León.

## UNO DE LOS NUESTROS

### Francis Crick: teórico de la biología molecular

Marcelino Pérez de la Vega

Departamento de Biología Molecular. Área de Genética. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

[m.perezdelavega@unileon.es](mailto:m.perezdelavega@unileon.es)

Francis Crick es uno de los grandes científicos del siglo XX, generalmente considerado más como un teórico que como un experimentador de laboratorio. Contribuyó de manera significativa al avance de la Biología con sus aportaciones a la estructura del ADN, la hipótesis de la secuencia, la hipótesis del adaptador o el dogma central de biología molecular. Pero lo que he querido resaltar en esta breve biografía, es como las ideas de Crick contribuyeron a que la Biología dejase de ser una ciencia eminentemente descriptiva para pasar a ser una ciencia fundamentalmente experimental. En ello jugaron un papel clave una pléyade de científicos provenientes de la Física. Quiénes fueron y qué relación tuvieron entre sí y con Francis Crick es lo que he tratado de contar.

Se han escrito muchas biografías de Francis Crick, más o menos extensas, y muchas de ellas son accesible a través de la red, además de una a modo de autobiografía (“*What mad pursuit*”). Por eso me voy a centrar en algunos aspectos curiosos, o que al menos me lo parecen, sobre la figura científica de Crick o relacionados con su contribuciones científicas más relevantes en Biología; aunque es inevitable hacer referencias biográficas de forma continua.

Su nombre completo era Francis Harry Compton Crick y nació el 8 de junio de 1916 en Northampton, Inglaterra. Su familia era de clase media; su padre poseía un negocio de zapatos y su madre era maestra de escuela. Estudió Física en el *University College* de Londres, parece ser que después de ser rechazado por Cambridge, y se graduó en 1937, curiosamente con sólo “second-class honors”. Inmediatamente empezó su trabajo doctoral que fue interrumpido por el inicio de la Segunda Guerra Mundial. Durante la guerra, Crick fue movilizadado e intervino en el desarrollo de minas navales.

La traducción de un párrafo relevante en este momento de su biografía (<https://profiles.nlm.nih.gov/ps/retrieve/Narrative/SC/p-nid/141>) dice: “En 1947, Crick, con treinta y un años de edad, intelectualmente inquieto, cansado de

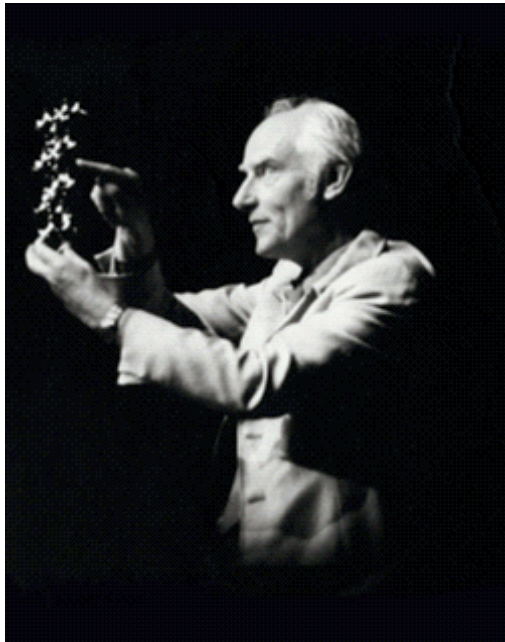
Forma de mencionar este artículo: Pérez de la Vega, M., 2016, Francis Crick: teórico de la biología molecular. *AmbioCiencias*, 14, 74-81. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

la investigación militar, y con un currículo mediocre en el campo de la física, decidió cambiar de campo y de carrera por completo. Para tomar esta decisión aplicó lo que llamó la "prueba del chismorreo": pensó que las cuestiones por las que uno se siente más atraído son aquellas sobre las que uno habla, y esa percepción vendrá de la curiosidad y dedicación que sólo la pasión puede sostener. Por lo tanto Crick determinó que se enfrentaba a una elección entre dos áreas científicas: la biología molecular y los misterios de la conciencia. Concluyendo que su formación en física le preparaba mejor para lo primero, en 1947 solicitó con éxito una beca del *Consejo de Investigación Médica* (MRC), el organismo que tenía la responsabilidad general para la promoción de la investigación biomédica en Gran Bretaña.

En 1949, retomó la realización de su Tesis en la unidad del MRC en el laboratorio de física Cavendish en Cambridge. Dirigido por Max Perutz se centró en la determinación de la estructura de las proteínas mediante difracción de rayos X. Crick consiguió su doctorado por el Gonville and Caius College en la Universidad de Cambridge en 1953 (el mismo año en se publicó el artículo sobre la doble hélice), con una Tesis titulada "*X-Ray Diffraction: Polypeptides and Proteins*". Pero desde el verano de 1951, Crick colaboraba con James D. Watson en la determinación de la estructura del ADN. Watson era un post-doctorado americano, once años más joven que Crick, que había hecho su Tesis en la Universidad de Indiana, bajo la dirección de Salvador Luria, con una Tesis titulada "*The Biological Properties of X-Ray Inactivated Bacteriophage*" (1951).

### **Crick, Watson y la estructura del ADN**

La colaboración entre Crick y Watson es uno más de los ejemplos de la enorme capacidad de Crick para establecer colaboraciones enormemente productivas con otros investigadores. Para muchos de sus biógrafos, Crick era un teórico que con su intuición y capacidad de análisis era capaz de proponer hipótesis, abordar la forma de resolverlas y analizar los resultados encontrando la respuesta. Tras largas charlas y ensayos, las imágenes de difracción de rayos X obtenidas principalmente por Rosalind Franklin y también por Maurice Wilkins dieron la pista definitiva a Crick y Watson para proponer su conocido modelo de la doble hélice. Independientemente de los detalles moleculares de la doble hélice, lo importante desde el punto de vista biológico era que la regla de apareamiento de las bases nitrogenadas significaba que las dos cadenas eran complementarias, de forma que cada una servía de molde para generar la otra nueva complementaria durante la división celular, aportando un modelo de la transmisión de la información hereditaria de una generación a la siguiente.



**Figura 1.** Francis Crick en 1979 mostrando un modelo de la doble hélice de ADN.

Fuente:

<https://profiles.nlm.nih.gov/SC/B/C/D/X/>

Si tuviésemos que resumir los antecedentes de este descubrimiento trascendental en biología se podría resumir en unas pocas frases o palabras clave: 1) relación entre Física y Biología; 2) cristales aperiódicos y enlaces químicos; 3) difracción de rayos X y 4) estructuras helicoidales. Vemos por qué.

El cambio de la Física a la Biología, particularmente a lo relacionado con el estudio de la estructura, organización y funcionamiento del material hereditario, no fue algo particular de Crick. En esa época otros notables científicos recorrieron el mismo camino y contribuyeron a la revolución de Biología Molecular de los 50 del siglo XX. Max Delbrück (Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1969 por su trabajo con bacteriófagos), Leo Szilard, Maurice Wilkins (Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1962, junto con Watson y Crick), y Seymour Benzer, por ejemplo, recorrieron este camino. En gran medida este acercamiento a la Biología desde la Física se debió a la influencia del libro de Erwin Schrödinger “*What Is Life?*”. Schrödinger (Premio Nobel de Física en 1933) fue un científico con grandes inquietudes intelectuales que le llevaron a proponer la teoría de campo unificado (*unified field theory* - UFT), o a resaltar los aspectos filosóficos de la física. En su libro “¿Qué es la vida?”, Schrödinger analizó el fenómeno de la vida desde el punto de vista de la física, reflexionando sobre la naturaleza física del gen y un “código” de la vida.

Conviene que nos fijemos en la importancia que el libro “*What is life?*” tuvo en la Biología. El libro se publicó en 1944 a partir de un curso impartido por Schrödinger en febrero de 1943 en el *Dublin Institute for Advanced Studies* del

*Trinity College*, Dublín. El curso atrajo a unos 400 estudiantes, a pesar de que se advertía de la dificultad de la materia y objetivos del curso. Es estimulante pensar que en plena Segunda Guerra Mundial seguían desarrollándose actividades científicas relevantes que atraían el interés de un gran número de jóvenes con un presente y futuro inciertos; ¿se obtendría el mismo éxito en una universidad española hoy día? La idea central del curso era: ¿Cómo pueden explicar la física y la química los acontecimientos espacio-temporales que tienen lugar en un organismo vivo? En el libro se incluía la idea de un “cristal aperiódico” que contenía información genética en su configuración de enlaces químicos covalentes. Es claro que esta idea estimuló la búsqueda de la molécula depositaria de la información genética y su transmisión.

Para centrar el foco de la gran contribución científica de Crick (y de Watson) conviene mencionar otros dos antecedentes. Casi de forma simultánea al curso de Schrödinger y la publicación de su libro ocurrió otro hecho fundamental en esta historia: la identificación del ADN como la molécula responsable de la herencia. En noviembre de 1943 Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty enviaron a publicar su artículo “*Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of Pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from Pneumococcus type III*”, que apareció publicado en 1944. Las conclusiones de este artículo dicen: “las evidencias presentadas apoyan la idea de que un ácido nucleico del tipo desoxirribonucleico es la unidad fundamental del principio transformador del *Pneumococcus* tipo III”. Por tanto el “cristal aperiódico” de Schrödinger debía ser ADN; ahora quedaba por ver cómo esa molécula podía codificar la información biológica. El segundo antecedente fue la demostración de que ciertas macromoléculas se organizan en hélices, que estaban formadas por la unión covalente de elementos más sencillos organizados aperiódicamente. Esa contribución se debe fundamentalmente a Linus Pauling (Premio Nobel de Química en 1954 y de la Paz en 1962). En este caso podemos decir que Pauling fue un químico (se graduó en Ingeniería química en el Oregon Agricultural College en 1922) reconvertido en biólogo. Se doctoró en 1925 en Fisicoquímica y Física matemática e investigó en el uso de la difracción de los rayos X en la determinación de la estructura de cristales en el *California Institute of Technology* (Caltech). En 1926 recibió una beca para viajar a Europa y ampliar sus estudios con varios profesores entre los que se encontraba Schrödinger.

A mediados de la década de 1930, Pauling decidió iniciarse en nuevas áreas de interés, en parte debido a la creciente fuerza del Caltech en biología.

Pauling interactuó con grandes biólogos como Morgan, Dobzhanski, Bridges y Sturtevant. Sus primeros trabajos en esta área incluyen estudios sobre la estructura de la hemoglobina demostrando que la molécula de hemoglobina cambia la estructura cuando se gana o pierde un átomo de oxígeno. Como resultado de esta observación, decidió estudiar más a fondo la estructura de proteínas en general usando la difracción de rayos-X. Las mejores imágenes de rayos X de proteínas en la década de 1930 se habían realizado por el cristalógrafo británico William Astbury. Tras once años, en 1951, Pauling, Corey y Branson propusieron la hélice alfa y la lámina beta como los motivos básicos de la estructura secundaria de proteínas. Pauling propuso entonces que el ácido desoxirribonucleico (ADN) era una triple hélice; además de otros errores básicos, incluida la propuesta de grupos fosfato neutros, una idea que entraba en conflicto con la acidez del ADN. Cuando se supo en el Laboratorio Cavendish que Pauling estaba trabajando en modelos moleculares de la estructura del ADN, se permitió a Watson y Crick hacer un modelo molecular del ADN para trabajar sobre la hipótesis de las hélices. Más tarde se beneficiaron de datos no publicados de Maurice Wilkins y Rosalind Franklin del Royal College que mostraban evidencias de un apilamiento de bases planas a lo largo del eje de una hélice. Mientras Pauling estaba investigando el ADN, Franklin en Inglaterra estaba obteniendo las mejores imágenes del mundo. Estas imágenes, junto con los datos de Chargaff sobre la equimolaridad de bases en el ADN, fueron la clave para el éxito de Watson y Crick. Pauling no las vio antes de idear su estructura errónea del ADN, aunque su asistente Robert Corey sí vio al menos algunas de ellas.

En relación con el descubrimiento de la doble hélice la biografía de Crick menciona que “Crick consideró ese descubrimiento como un poderoso ejemplo de los métodos experimentales y teóricos mediante los cuales los complejos problemas de la biología podrían reducirse a leyes fundamentales de la física y la química. De hecho, a lo largo de su carrera científica mantuvo su convicción de que los orígenes y procesos de la vida, incluyendo la conciencia humana y el libre albedrío, podrían explicarse completamente en términos racionales, científicos. En una serie de conferencias publicadas bajo el título *“Of Molecules and Men”* (1966), formuló su posición en contra de lo que llamó el vitalismo, la creencia de que la vida, la evolución y la conciencia se generaron y dirigieron por una fuerza metafísica y que no están sujetos a verificación experimental”.





Courtesy of Cold Spring Harbor Laboratory Archives and Svenskt Press Photo, Stockholm, Sweden.  
Noncommercial, educational use only.

**Figura 2.** Premiados con el Nobel en 1962, de izquierda a derecha Maurice Wilkins (Medicina), Max F. Perutz (Química), Francis H.C. Crick (Medicina), John Steinbeck (Literatura), James D. Watson (Medicina) y John C. Kendrew (Química).

### **Del ADN a las proteínas**

Tras la “Doble hélice”, el siguiente hito en las contribuciones de Crick a resolver problemas claves de la Biología fue el abordar el problema de cómo la información contenida en el ADN llegaba a generar las proteínas que eran los elementos básicos sobre los que se ordenan los procesos biológicos. Una información en forma de nucleótidos debía pasar a otra en forma de aminoácidos, debía ser individualizada en unidades más pequeñas (el tamaño o longitud molecular del ADN era mucho mayor que cualquier proteína) y, al menos en eucariotas, debía pasar del núcleo al citoplasma.

Crick dedicó la mayor parte de sus esfuerzos entre 1954 y mediados de la década de 1960 en estudiar el problema del código genético, es decir, cómo los genes controla la síntesis de las proteínas. Dedujo que la secuencia en la que se disponen las cuatro bases de ADN codifica las instrucciones para la construcción de cadenas hechas con una combinación de los veinte aminoácidos comunes. Crick llamó a esta teoría la hipótesis de la secuencia. Además supuso que la información genética, una vez transmitida a partir de ADN (probablemente a través de un mensajero, probablemente un ácido ribonucleico, o ARN) y utilizada para ensamblar la cadena de aminoácidos, no podría fluir en sentido inverso desde la proteína y afectar a la secuencia en el ARN “mensajero”. Esta hipótesis se conoce como el “dogma central” de la biología molecular. Por último,

predijo la existencia de un grupo de moléculas adaptadoras (la hipótesis del adaptador) que intervendrían en el proceso, y que más tarde, tras su identificación y demostración de que interviene en el montaje de la cadena de aminoácidos, se llamaron ARN de transferencia.

Crick comenzó a trabajar en el código genético con Vernon Ingram y con Sydney Brenner, a partir de 1957. En 1961, Crick, Brenner y otros publican en la revista *Nature* cómo, mediante el estudio de mutaciones en un bacteriófago, se podía demostrar que el código genético se basaba en la lectura simultánea de tres bases cada vez, en una dirección y desde un punto de partida fijo en la cadena de ADN (Nirenberg llegó a la misma conclusión al mismo tiempo). Durante los siguientes cinco años, Crick y sus colegas en Inglaterra y los Estados Unidos (entre ellos Ochoa) identificaron los tripletes para los veinte aminoácidos en una amistosa competición.

La hipótesis sobre la existencia de un ARN mensajero, intermediario entre el ADN y las proteínas, fue propuesta por Jacob y Monod (1961) y comprobada experimentalmente por Brenner, Jacob y Messelson ese mismo año. Con ello se demostraba cuál era el intermediario en el flujo de información desde el ADN a las proteínas.

Como ya he mencionado Crick propuso en 1958 la hipótesis del adaptador, es decir, un grupo de moléculas que ayudarían en la unión de aminoácidos en cadenas polipeptídicas, y ese mismo año Hoagland y colaboradores publicaron un trabajo titulado “*A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis*”, demostrando la existencia de esos adaptadores que conocemos como ARN transferentes. En definitiva se demostraba que los aminoácidos no se incorporaban solos en los polipéptidos sino que eran transportados y dirigidos a su posición mediante esos “adaptadores” en forma de otro tipo de ácido ribonucleico.

Con la completa elucidación del código genético y con la biología molecular ya establecida sobre una firme base científica, Crick mudó su atención a otros campos a mediados de la década de los 60, sobre todo a la biología del desarrollo, al estudio de cómo los genes controlan el crecimiento y la especialización de los órganos. Como reflejo de este cambio Crick y Brenner, quienes en 1962 se habían convertido en cabezas conjuntas de la División de Genética Molecular del Laboratorio de Biología Molecular del MRC en Cambridge, rebautizaron la división como la División de Biología Celular en 1969.

### Estudios en neurobiología

En 1977, aceptó un nombramiento permanente como profesor en el *Salk Institute for Biological Studies*, en La Jolla, California. Con tal motivo cambió de nuevo la orientación de sus investigaciones desde la biología molecular a otra de sus áreas de interés, la neurobiología, sobre la que se había interesado durante mucho tiempo. De nuevo en colaboración especialmente con el neurocientífico computacional Christof Koch, Crick estudió el sistema visual de los seres humanos en un intento por descubrir las correlaciones neuronales de la conciencia, cómo se producen las interacciones electroquímicas de las células nerviosas de la corteza cerebral y las partes relacionadas del cerebro que dan lugar a la mente subjetiva. Explicó su acercamiento a la conciencia en “*The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*” (1994), y publicando artículos sobre temas tales como la acción de las espinas dendríticas y la función de los sueños mientras se duerme. Él estaba editando su último artículo sobre neurobiología pocos días antes de morir de cáncer de colon, el 28 de julio de 2004, en La Jolla, California, a los ochenta y ocho años de edad.

Es indiscutible el enorme valor y repercusión de las aportaciones de Crick a la Ciencia. Se ha argüido que la casualidad y cierta marrullería científica le permitieron junto con Watson descubrir el modelo de la doble hélice, pero ¿podrían haberlo deducido sin los conocimientos adecuados y el raciocinio científico para hacerlo? No olvidemos que otros grandes científicos como Pauling andaban transitando caminos erróneos en los que se perdieron. La biografía de Francis Crick nos enseña como sólo la inteligencia, capacidad y confianza en sí mismo de una persona son capaces de llevarle de un inicio poco prometedor en unos tiempos difíciles (un treintañero que tras una guerra mundial retoma su Tesis con un currículo no muy brillante y que se interesa en un campo científico que no es el que teóricamente domina por sí título de graduación) a un nivel de excelencia científica al alcance de muy pocos.

Marcelino Pérez de la Vega es Doctor en Biología por la Universidad Complutense de Madrid y Catedrático de Universidad del Área de Genética de la Universidad de León desde el año 1986, donde ha desarrollado la mayor parte de su dilatada actividad docente e investigadora.

## AMBIOLOGOS DE AQUÍ

### De la Dendrología, pasando por la Fitobacteriología, al Registro de Variedades Protegidas para el Título de Obtención Vegetal

María José Villalón Robles

Siempre he pensado que el destino da muchas vueltas. Quién me iba a decir a mí que una buena mañana (cuando realmente no tenía que haber estado en León) me iba a tropezar por casualidad y en un lugar inesperado con Juan Nieto y que, después de una rápida puesta al día, me iba a invitar a participar en esta interesante experiencia que me traería de vuelta a la Facultad casi veinte años más tarde. Tras desvincularme de la Facultad en marzo de 1999 me vine a los Países Bajos, que no Holanda (que sólo es una parte del país), con una beca Leonardo. Eran unas prácticas de tres meses... ¡y aquí sigo! ¡Cómo ha pasado de rápido! No quiero contar los años porque me asusto.

Hice mis prácticas en el Departamento Forestal de la Universidad de Wageningen. Para aquellos que no la conozcáis, Wageningen UR ha sido reconocida como la mejor universidad del mundo en el campo de la Agricultura y la Silvicultura; este ranking está basado en la reputación académica, el impacto en la investigación y su reputación como empleador. Así que os animo a considerarla a aquellos que estéis buscando algún intercambio, prácticas de trabajo, doctorado sándwich, etc.

El proyecto con el que empecé a trabajar, y que más tarde se convertiría en el tema de mi tesis de Máster debido a su magnitud, era un estudio comparativo que tenía como fin analizar la variación de la estructura del xilema de las paredes celulares y el lumen en células de madera de *Picea abies* sometida a un proceso de acetilación y contrastarlo con madera no tratada, pero sometida a un grado de humedad relativa cercano al 95%. Esta variación a nivel microscópico se extrapolaría luego a nivel macroscópico a nivel de corte longitudinal, transversal y tangencial de la madera.

Me pareció una experiencia fabulosa en la que aprendí muchísimo. Y es que, al llegar, me presentaron el proyecto en el que iba a trabajar, me dieron unas prácticas de los procedimientos que tenía que usar y me desearon buena suerte.

Forma de mencionar este artículo: Villalón, M.J., 2016, De la Dendrología, pasando por la Fitobacteriología, al Registro de Variedades Protegidas para el Título de Obtención Vegetal. AmbioCiencias, 14, 82-87. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Así que, a los 2 días de llegar aquí, ya estaba haciendo preparaciones para el microscopio confocal láser de barrido y analizar las fotografías con un programa de análisis de imagen. La responsabilidad era mía.

Como os digo, disfruté y aprendí tanto que quería más. Así que en septiembre ya estaba de vuelta empezando un Máster en Ciencias de la Madera. La tesis fue la continuación del trabajo empezado; se llamó “*Bulking of acetylation compared to water adsorption*” y me llena de satisfacción saber que haya servido de referencia en varias publicaciones.

La Universidad ha cambiado muchísimo en estos años y ha pasado de tener departamentos, aulas y laboratorios distribuidos por toda la ciudad de Wageningen a tener un campus tecnológico increíble que crece a diario. Está claro que es más práctico que todos los edificios estén reunidos, pero es una pena que se haya perdido el concepto de ciudad-universidad, que bullía de estudiantes en bicicleta para arriba y para abajo para ir a alguna clase o práctica, sobre todo en los cambios de hora. Ni que decir tiene lo bonito que era tener el departamento en una mansión de estilo victoriano con escalinata de madera y seguir las clases en el salón principal, con molduras en el techo, chimenea de mármol y asientos de ventana, y poder disfrutar de un jardín botánico particular con vistas al Rin en los ratos muertos.

Para mi gran pena, no pude proseguir con el doctorado porque hubo una reestructuración del departamento y la sección de Ciencias de la Madera desapareció. Pero eso no significaba que mi gran aventura fuera a terminar, ni mucho menos. Recién graduada en mi Máster, me puse a buscar trabajo. En ese momento ya hablaba holandés lo que me dio un empujoncito para conseguirlo.

Empezaba una nueva etapa laboral, esta vez en el Servicio de Protección Vegetal, PD (Plantenziektenkundige Dienst), también en Wageningen. De 2001 a 2008 estuve trabajando en el departamento de Bacteriología. Los primeros años como especialista de diagnóstico y más tarde en un proyecto de investigación de varios años. El trabajo en el servicio de diagnóstico fue interesantísimo y también adquirí un gran aprendizaje. Se trataba de determinar qué bacterias se encontraban en infecciones masivas de plantas, un estudio a nivel nacional, en algunos casos con especies conocidas como *Ralstonia solanacearum* y *Clavibacter michiganensis* en patata, u otros patógenos de tomate, fresa o rosáceas; otras veces había que hacer de detective y tratar de averiguar cuál era el patógeno en cuestión. El trabajo de laboratorio era muy ameno y satisfactorio, utilizando innumerables técnicas de detección y determinación: inmunofluorescencia, FISH, diversas técnicas de PCR, cromatografía de ácidos grasos, ensayos bio-

químicos, etc. Todo ello para validar los postulados de Koch, cerrar el círculo y llegar al diagnóstico correcto.

Como diría Johan Cruyff, “en un momento dado” los castaños de indias empezaron a “sangrar”. Es por eso que en 2004 se creó el Grupo Aesculaap, un equipo de investigación multidisciplinar para estudiar esa enfermedad desconocida hasta el momento. ¿Sería un virus, un hongo, una bacteria? En el PD participamos en ese grupo de trabajo, con el objetivo de determinar la taxonomía, epidemiología y los posibles métodos de control de la enfermedad. Llegamos a la conclusión de que el patógeno era *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*. Con tan “buena suerte” que un día paseando con nuestro perrín Astérix por el Campus de Vegazana vi que había algunos árboles (castaños de indias, claro) con síntomas similares. Se me ocurrió ponerme en contacto con José María Castro, Chema, de Microbiología. Le hablé del proyecto en el que estábamos y le propuse ayudarme a intentar aislar “algo” del tejido enfermo de esos árboles. Hicimos varios cultivos y enviamos las muestras a Wageningen. Pero en vez de ser nuestra bacteria resultó ser un hongo, *Phytophthora ramorum*; así que no seguimos más por esa línea. En cualquier caso, no representaba un problema grave para los árboles que no pudieran controlar ellos mismos. Tras cuatro años de estudio y buenos resultados, el proyecto terminó. El castaño de indias no es una especie de interés maderero y los ejemplares jóvenes y más viejos eran capaces de controlar el progreso de la epidemia “encapsulando” el tejido afectado durante la época de reposo.

En la primavera de 2008 empecé a trabajar en Easygene, laboratorio especializado en el desarrollo de marcadores moleculares con PCR y microsatélites, subsidiario de Western Seed International B.V., una empresa de semillas hortícolas que había sido adquirida recientemente por Monsanto. Con la fusión, el trabajo que yo hacía se trasladó a Woodland (en California) para centralizar los análisis. Entonces nos mudamos a la estación de mejora de la antigua Seminis Vegetable Seeds, que había sido adquirida años antes también por Monsanto y yo pasé a trabajar en el laboratorio de Metabolómica. Allí mi responsabilidad era el análisis de metabolitos que sirven de apoyo en los programas de mejora tradicional de las distintas variedades vegetales que produce la compañía. Quiero incidir en lo de mejora tradicional de variedades hortícolas, es decir, a través de programas de selección completamente naturales. Éste es el sector de la compañía en el que he trabajado hasta hoy en día. Otros sectores en los que trabaja Monsanto son la mejora tradicional de variedades agrícolas, la protección de cultivos y la Biotecnología (desarrollo de productos transgénicos) aplicada únicamente en variedades agrícolas. Ésta última es la más controvertida a nivel social, pero

empleada también por innumerables compañías a escala global, como Bayer, BASF, Syngenta, DuPont y un largo etcétera.

En 2010 regresé de nuevo a la Fitopatología, como coordinadora del programa DCV (Disease Claim Verification) para la zona EMEA (Europe, Middle East and Africa), donde hacíamos ensayos para verificar las resistencias a enfermedades propuestas por los mejoradores antes de comercializar las variedades. También era responsable del fenotipado de *Bremia lactucae* en variedades pre-comerciales de lechuga, un oomycete de gran variabilidad genética, con 31 razas descritas oficialmente hasta la fecha.



**Foto 1.** Muchas horas de laboratorio, muchísimas.

Ya en 2012 volví a dar otra vuelta de tuerca a mi experiencia laboral y comencé a trabajar en el Departamento de Asuntos Reguladores. Allí empecé coordinando los registros (obligatorios para la comercialización) de las variedades hortícolas en la Unión Europea y más tarde como especialista de documentación para toda la zona EMEA. En enero de 2015 pasé a formar parte del Departamento Legal, donde soy especialista de Propiedad Intelectual. Éste es otro tipo de registro cuyo fin es adquirir, durante un periodo tiempo determinado, el Derecho de Obtentor de la variedad en cuestión. A nivel europeo se hace a través de CPVO (Community Plant Variety Office) y en el resto de la zona EMEA a través de los Ministerios de Agricultura locales. Además, represento externamente a la compañía en ISF (International Seed Federation) y ESA (European Seed Association).

El trabajo actual es increíblemente gratificante y con él accedo a trabajar con infinidad de compañeros de otros tantos departamentos ubicados por todo el mundo. No sólo eso, sino que además me permite participar en los congresos de CPVO y UPOV (Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales), que es el organismo que vela por el Derecho de Obtentor a nivel mundial. En estas reuniones (Technical Working Party for Vegetables) se procede a la revisión de documentos y protocolos oficiales adoptados por los consejos de estas organizaciones, siguiendo las normativas oficiales y acuerdos junto con los Centros Nacionales de Ensayos Técnicos y otras empresas de semillas. En este momento, en el seno de UPOV y junto con otras empresas (de semillas, ornamentales, frutícolas, etc.) y Autoridades de Registro, estamos desarrollando una herramienta digital para tramitar las solicitudes a escala global; el prototipo se encuentra en fase de prueba y la intención es que entre en funcionamiento el año que viene.



**Foto 2.** Visita al Museo de Mendel en Brno, República Checa durante el 50o Congreso UPOV, organizado por ÚKZÚZ (centro nacional de ensayos técnicos de identificación de variedades en registro).

Como actividad de desarrollo personal y profesional, en diciembre de 2014 entré a formar parte del equipo de dirección de la “Monsanto Women's Network, the Netherlands”, primero como responsable de la tesorería, proyectando y gestionando los presupuestos, el segundo año como líder del grupo y este año como responsable de estrategia y otras redes internacionales.





**Foto 3.** Evento organizado por MWN-NL al que asistieron alrededor de 50 participantes con un Panel Directivo como invitados con los que se discutieron distintos temas como desarrollo personal y profesional; la importancia de tener una red laboral; Coaching, ¿cómo funciona? y la diversidad dentro de la organización.

Si me paro a pensar un poco, la vida es un poco como los libros que leíamos en el colegio de “Elige tu propia aventura” en los que, dependiendo de la decisión que tomaras, leerías una historia u otra. Eso sí, está llena de oportunidades increíbles, sólo hay que tener los ojos bien abiertos para verlas y lanzarte a por ellas (ahí va otra alegoría a los libros de aventuras...) como si fueran la “snitch dorada” de Harry Potter. A veces hay que ser valiente y sacrificar muchas cosas para lanzarse a por ellas, pero... el que no juega, no gana ;- ) ¡Suerte!

## MI PROYECTO DE TESIS

### Valorización energética de un cultivo energético tras la aplicación de abonado orgánico

Sergio Paniagua Bermejo

Departamento de Física y Química Aplicadas. Área de Ingeniería Química. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

¿Puede el tipo de abonado ser un factor clave en el rendimiento energético del residuo vegetal de un cultivo con fines energéticos? Buena pregunta ¿verdad?, pues este es el pilar sobre el que se fundamenta mi tesis. Pero, pongámonos antes en contexto.

La comunidad científica asume casi como un “dogma de fe” la necesidad de paliar la demanda energética actual con fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Más aún si, tal y como predicen ciertas investigaciones (Asif y Muneer, 2007; Shafiee y Topal, 2009), la durabilidad de las reservas de estos combustibles fósiles no garantiza el abastecimiento energético de la población. Es en este punto cuando nuestro equipo de investigación entra a escena y con la energía procedente de la biomasa (energía biomásica). El concepto de biomasa alude a cualquier material de origen biológico, excluyendo a todo aquel que ha sufrido un proceso de mineralización (Damien y Vicente, 2010). A la energía derivada de fuentes de biomasa es a la que se conoce como energía biomásica. Tal es el calibre de dicha energía que se estima que para el año 2050 ésta suplirá una tercera parte de la demanda energética mundial (Roberts *et al.*, 2015)

A lo largo de esta tesis se busca valorar el comportamiento térmico de la biomasa procedente de cuatro clones diferentes de chopos (*Populus x*



*interamericana*) tras haberles aplicado un abonado consistente en lodos de depuradora (**Fig. 1**). Se trabajó con una plantación de unos 1400 árboles (**Fig. 2**) y se tomaron muestras de la biomasa anualmente. Posteriormente, esas muestras

**Figura 1.** Abono aplicado (lodo deshidratado de EDAR).

Forma de mencionar este artículo: Paniagua, S., 2016, Valorización energética de un cultivo energético tras la aplicación de abonado orgánico. AmbioCiencias, 14, 88-90. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

fueron sometidas a una serie de tratamientos (secado, molienda y densificación) a fin de contar con la materia prima necesaria para efectuar el análisis que nos determinará el comportamiento térmico de la biomasa extraída de los chopos. Este análisis, que es conocido como termo-gravimétrico o también como TGA por sus siglas en inglés, se fundamenta en el conocimiento de la cantidad de muestra que se desprende a medida que se va incrementando la temperatura. Una vez que se dispuso de los datos del análisis TGA, mediante una serie de ajustes matemáticos, se calcularon parámetros estrechamente relacionados con la energía liberada en los procesos térmicos y con la velocidad a la que estos transcurren.



**Figura 2.** Parcela de clones del género *Populus* empleada para el estudio ubicada en la localidad leonesa de Hospital de Órbigo.

En lo que a los resultados obtenidos hasta la fecha concierne, se ha notado una mejora en el comportamiento térmico de todos los clones de chopos al tratarlos con un abonado de este tipo. De todas las formas, no sería adecuado el “lanzar las campanas al vuelo” ya que estos resultados deben de complementarse con mediciones agronómicas (altura, volumen y suelos) y ser analizados de forma pormenorizada antes de emitir algún tipo de conclusión categórica, así como ver la combustión real en calderas de combustión.

Hace pocos meses, hemos instaurado una nueva línea que nos ayudará a completar el proyecto de tesis. En ella queremos ver la respuesta al abonado de especies vegetales que, o bien no estén demasiado asentadas en nuestras latitudes, o de las que exista un gran inventario por tener una función muy determina-

da en nuestra sociedad (límite visual, ornamental, etc.). Espero que no hayamos sido demasiado ambiciosos en este aspecto, pero aun así habrá merecido la pena. Cómo dice mi director, recuerda que los grandes descubrimientos siempre vinieron precedidos de grandes fracasos.

### **Bibliografía**

- Asif, M., y Muneer, T. 2007. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11(7):1388-1413.
- Damien, A., y Vicente, A. M. 2010. *La Biomasa: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Mundi-Prensa Libros S.A, Madrid, España.
- Roberts, J. J., Cassula, A. M., Osvaldo Prado, P., Dias, R. A., y Balestieri, J. A. P. 2015. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41:568-583.
- Shafiee, S., y Topal, E. 2009. When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy Policy* 37(1): 181-189.

### **Directores de la Tesis**

Luis Fernando Calvo Prieto  
Marta Otero Cabero

## COMENTANDO LO PUBLICADO

### Comentando *Laudato Si*, de Jorge Bergoglio, 2015. Sobre el cuidado de la Casa Común: una lección de Ecología Integral

Estanislao Luis Calabuig

Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Área de Ecología. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

*Alabado seas, mi Señor, en todas tus criaturas,  
especialmente en el Señor hermano sol,  
por quien nos das el día y nos iluminas.*

*Alabado seas, mi Señor, por la hermana luna y las estrellas,  
en el cielo las formaste claras y preciosas y bellas.*

*Alabado seas, mi Señor, por el hermano viento  
y por el aire y la nube y el cielo sereno y todo tiempo,  
por todos ellos a tus criaturas das sustento.*

*Alabado seas, mi Señor por la hermana agua,  
la cual es muy humilde, preciosa y casta.*

*Alabado seas, mi Señor, por el hermano fuego,  
por el cual iluminas la noche,  
y es bello y alegre y vigoroso y fuerte.*

*Alabado seas, mi Señor, por la hermana nuestra madre tierra,  
la cual nos sostiene y gobierna  
y produce diversos frutos con coloridas flores y hierbas.*

Francisco de Asís. Cántico de las criaturas. 1224.

### Introducción

El 24 de mayo de 2015 se presentaba la Encíclica *Laudato Si* del Papa Francisco con gran repercusión en los medios de comunicación y en las redes sociales de todo el mundo. En sus propias palabras iba dirigida *a cada persona que habita este planeta, frente al deterioro ambiental global*. Las reacciones fueron inmediatas, aunque las manifestaciones sobre el fondo plasmado en el documento se expresaron con opiniones de signo muy diferente. Nadie con interés por el medio ambiente podía quedar indiferente. Y sobre todo los dedicados profesionalmente a cualquiera de las temáticas que hoy día abarca esa problemá-

Forma de mencionar este artículo: Luis Calabuig, E., 2016, Comentando *Laudato Si*, de Jorge Bergoglio, 2015. *AmbioCiencias*, 14, 91-103. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

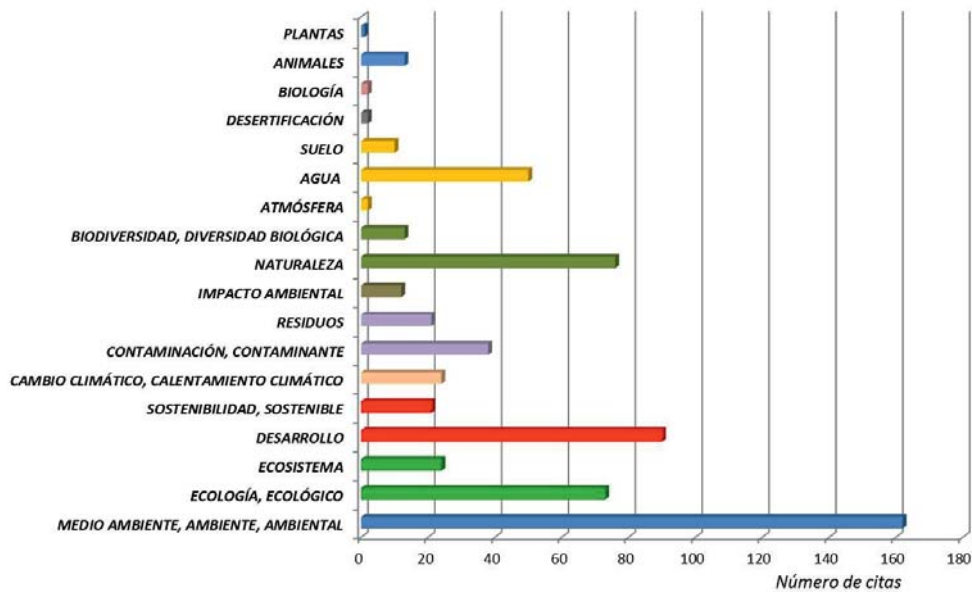
tica, desde los técnicos a los científicos, desde los docentes a los sociólogos, desde los economistas a los políticos, o desde los magnates de las multinacionales hasta los ecologistas, más el pueblo llano de cualquier clase social, región o credo, por el interés en lo que es y representa la persona que firmaba esa carta.

Pocas veces los problemas ambientales han sido defendidos por portavoces tan significados en el ámbito global del planeta. Si Al Gore, premiado en el año 2007 con el Príncipe de Asturias de Cooperación Internacional y el Nobel de la Paz por su claro posicionamiento en la lucha contra el calentamiento global, plasmado en su libro *Una verdad incómoda*, tras su fallida carrera hacia la Casa Blanca, utilizó un periplo de varios años, un solo documento ha sido suficiente para que Jorge Bergoglio sacudiera a todas las conciencias en favor de la protección de la Tierra (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Dos de los más importantes valedores por su lucha contra el cambio global.

Para mí, como universitario y ecólogo en la docencia y la investigación, dedicado a las cuestiones ambientales desde hace algunas décadas, fue una sorpresa comprobar la capacidad de síntesis y el esfuerzo de integración de los conocimientos y avances científicos que se han plasmado en ese documento, para expresar de forma sencilla las implicaciones, efectos y causas del cambio global. Como científico no podía permanecer ajeno ante un manifiesto en el que el término medio ambiente y sus relacionados se citan 162 veces, al igual que las referencias a la ecología con 73 o la mención a los ecosistemas con 24 repeticiones (**Fig. 2**). Y otros muchos que nos son especialmente cercanos en las disciplinas que se imparten en los grados de nuestra Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, como biodiversidad, cambio climático, contaminación, impacto ambiental o sostenibilidad. Todas ellas son palabras clave para la descripción de los objetivos que se persiguen en las ciencias que nosotros directamente pretendemos enseñar a nuestros alumnos. Por lo tanto, es casi una obligación analizar esta referencia “*sobre el cuidado de la casa común*”.



**Figura 2.** Número de citas de términos clave citados en la Encíclica Laudato Si, relacionados con la problemática ambiental y el cambio global.

Mi acercamiento será exclusivamente desde la perspectiva científica, contrastando las aportaciones conocidas hasta la actualidad en el campo de la investigación de las ciencias ambientales, y su proyección con objetivos de conservación de la naturaleza, resaltando las causas, los efectos y las interacciones propias de todo proceso de desarrollo ligado a la especie humana. Fundamentalmente los comentarios irán dirigidos a lo que se manifiesta en los apartados que conforman el capítulo primero bajo el epígrafe de *lo que está pasando a nuestra casa*, aunque también dedicaré referencias especiales a lo tratado en el capítulo tercero, dedicado a la raíz humana de la crisis ecológica, y muy especialmente al capítulo cuarto por su planteamiento, conocido como el paradigma de una *ecología integral*. Sugiero, no obstante, una lectura pausada de la carta en su totalidad, para que aquellos interesados puedan analizarla desde las reflexiones de la filosofía, la ética y la moral, e incluso la religiosa.

### Inspiración y motivación

Esta encíclica, como se manifiesta en el primer párrafo de la misma, está claramente inspirada en el “Cántico de las criaturas” de Francisco de Asís, en el que curiosamente se mencionan como ejes principales los cuatro elementos para explicar los patrones de la naturaleza en el mundo clásico (tierra, agua, aire y fuego), y está motivada ante el *clamor por el daño provocado a causa del uso irres-*

*ponsable y el abuso sobre los bienes de la Tierra. Se resalta el hecho de que la especie humana ha crecido pensando que era propietaria y dominadora, autorizada a expoliarla y, sin embargo, sus acciones se manifiestan en los síntomas de enfermedad que se advierten en el suelo, en el agua, en el aire y en los seres vivos. Acude a los textos bíblicos para recordar que olvidamos que nosotros mismos somos tierra. Nuestro propio cuerpo está constituido por los elementos del planeta, su aire es el que nos da alimento y su agua nos vivifica y restaura. Copiando las palabras de su antecesor el Papa Pablo VI, presenta la crisis ecológica como una consecuencia dramática de la actividad descontrolada del ser humano, para concluir que debido a una explotación inconsiderada de la naturaleza, la propia especie humana corre el riesgo de destruirla y de ser a su vez víctima de esta degradación. Manifestaciones que no se oyen, por supuesto, por primera vez, sino que han sido pronunciadas en las últimas décadas en los organismos internacionales, como la UNESCO, y repetidas por significados profesionales dedicados a la ciencia. Se alude también en la introducción a algunas causas generales, como las disfunciones de la economía mundial o el seguimiento de modelos de crecimiento que parecen incapaces de garantizar el respeto al medio ambiente.*

El principio básico de este manifiesto se centra en que *el desafío urgente de proteger nuestra casa común incluye la preocupación de unir a toda la familia humana en la búsqueda de un desarrollo sostenible e integral. Se reconoce que el movimiento ecológico mundial ya ha recorrido un largo y rico camino, y ha generado numerosas agrupaciones ciudadanas que ayudaron a la concienciación, aunque también se pone de manifiesto que las actitudes que obstruyen los caminos de solución van de la negación del problema a la indiferencia, la resignación cómoda o la confianza ciega en soluciones técnicas, sin olvidar que cada persona puede colaborar para enmendar esas disfunciones, cada uno desde su cultura, su experiencia, sus iniciativas y sus capacidades.*

### **Situación ambiental actual**

El capítulo que trata de exponer la situación ambiental recorre los *distintos aspectos de la actual crisis ecológica, con el fin de asumir los mejores frutos de la investigación científica actualmente disponible, intentando mirar no sólo los síntomas sino también las causas más profundas. El hilo conductor de la exposición emerge de la convicción de que en el mundo todo está conectado y de la advertencia de la realidad de un mundo limitado y finito. Principios que subyacen en la enseñanza de la ecología si se pretende abordar su estudio a partir de la*



teoría de sistemas, en este caso concreto de los ecosistemas. Se recuerda, muy acertadamente, que *si bien el cambio es parte de la dinámica de los sistemas complejos, la velocidad que las acciones humanas le imponen hoy contrasta con la natural lentitud de la evolución biológica. A esto se suma el problema de que los objetivos de ese cambio veloz y constante no necesariamente se orientan al bien común y a un desarrollo sostenible e integral.*

Sin embargo la especie humana ha entrado en una etapa de mayor concienciación, caracterizada por una creciente sensibilidad con respecto al medio ambiente y el fomento de pautas para la conservación de la naturaleza, *con una sincera y dolorosa preocupación por lo que está ocurriendo con nuestro planeta.*

En el texto de la carta *se hace un recorrido por aquellas cuestiones que hoy provocan mayor inquietud y que ya no se pueden esconder debajo de la alfombra*, con el objetivo de poder reconocer cuál es la contribución que cada uno puede aportar. El primer apartado se dedica a la contaminación y el cambio climático, y empieza por resaltar que *la exposición a los contaminantes atmosféricos produce un amplio espectro de efectos sobre la salud humana. Contaminación que afecta a todos, debida al transporte, al humo de la industria, a los depósitos de sustancias que contribuyen a la acidificación de los suelos y del agua, a los fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas.* Contaminaciones de muy diversa índole y efectos en distintos ambientes provocados por residuos y desechos peligrosos, muchos de ellos no biodegradables y otros que pueden producir un efecto de bioacumulación.

Problemas que con frecuencia están ligados al derroche, al despilfarro y a la *cultura del descarte*. Se comenta con algunos ejemplos concretos cómo se desperdicia y se ignora el reciclaje, y cómo eso es contrario al funcionamiento de los ecosistemas naturales, de eficiencia ejemplar si se compara con diversas acciones humanas que *al final del ciclo de producción y de consumo, no han desarrollado la suficiente capacidad de absorber y reutilizar residuos y desechos.* Habría que *limitar al máximo el uso de recursos no renovables, moderar el consumo, maximizar la eficiencia del aprovechamiento, reutilizar y reciclar*, pero los avances en ese sentido son todavía muy escasos.

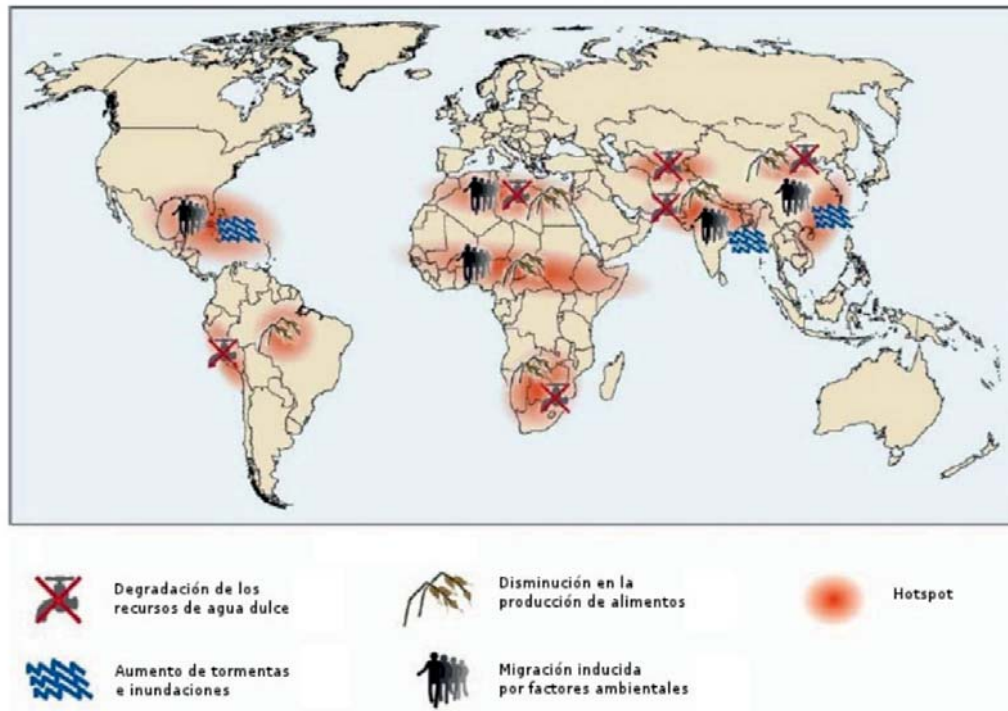
Se aprecia cierta angustia en este relato cuando se entremezclan párrafos que claman porque *la Tierra, nuestra casa, parece convertirse cada vez más en un inmenso depósito de porquería. En muchos lugares del planeta, los ancianos añoran los paisajes de otros tiempos, que ahora se ven inundados de basura. Nunca hemos maltratado y lastimado a nuestra casa común como en los últi-*

mos dos siglos. Si alguien observara desde afuera la sociedad planetaria, se asombraría ante semejante comportamiento que a veces parece suicida. Nos recuerdan extraordinariamente las muchas sentencias del jefe indio Seattle de la tribu Suwamish en su carta al presidente de los Estados Unidos de América Franklin Pierce en 1855, que tanto nos gusta relatar a nuestros alumnos, sobre todo cuando, refiriéndose al hombre blanco, pronuncia: “Su apetito devorará la tierra, dejando atrás solamente un desierto”.

Se hace especial referencia a la frecuente relación entre las finanzas y la tecnología, con capacidad extraordinaria para resolver problemas concretos, pero en muchos casos incapaz de avistar las múltiples relaciones entre los elementos de la naturaleza creando otros problemas.

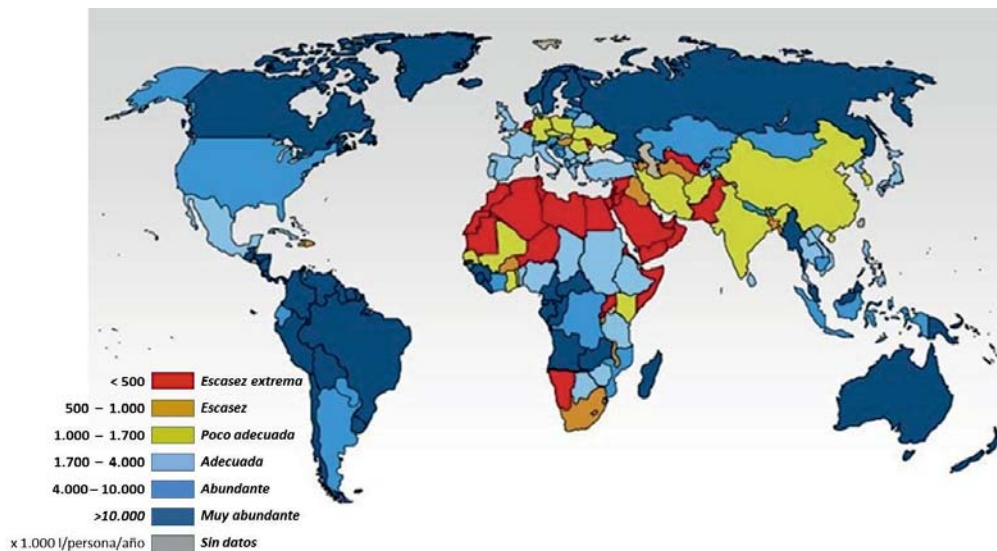
Al hablar del clima hace referencia a él como un bien común (recurso de libre acceso), definiéndolo como *un sistema complejo relacionado con muchas condiciones esenciales para la vida humana*. Y a continuación resalta *el consistente consenso científico que indica que nos encontramos ante un preocupante calentamiento del sistema*, describiendo sus efectos más significativos de escala global y apelando a la conciencia de todos sobre la necesidad de combatir ese calentamiento, al menos contra *las causas humanas que lo producen o acentúan*, señalando concretamente las que provocan el incremento de concentración de gases de efecto invernadero provenientes del uso abusivo de combustibles fósiles para desarrollar actividades humanas, o el *aumento en la práctica de cambio de usos del suelo, principalmente la deforestación para agricultura*. Se comentan también los posibles efectos sobre la disponibilidad de recursos, bienes y servicios imprescindibles, centrando la atención en el agua potable, la energía renovable, la producción agrícola o los impactos sobre la biodiversidad para cualquiera de los niveles de integración biológica, desde el genético al ecológico.

Enfatiza en el hecho de que *el cambio climático es un problema con graves dimensiones ambientales, sociales, económicas, distributivas y políticas, y plantea uno de los principales desafíos actuales para la humanidad*, añadiendo que *los peores impactos probablemente recaerán sobre los países en desarrollo, ya que sus medios de subsistencia dependen fuertemente de las reservas naturales y de los servicios ecosistémicos, como la agricultura, la pesca y los recursos forestales*. Los cambios climáticos pueden también originar migraciones en plantas y animales que no siempre pueden adaptarse, lo que en ocasiones modifica recursos imprescindibles para las personas, *quienes pueden verse obligadas a migrar con gran incertidumbre*. Nuestra revista AmbioCiencias publicaba precisamente un artículo sobre migraciones humanas como secuela del cambio global (Doormann, 2012), señalando las zonas críticas para el planeta (**Fig. 3**).



**Figura 3.** onas calientes del planeta con riesgo de migración inducida por estresores ambientales. Doormann, 2012 (modificado de Climate Change as a Security Risk. German Advisory Council on Global Change, WBGU. 2007)

La preocupación por el agua es tratada como indicador principal en el apartado crítico de agotamiento de recursos naturales. *El agua potable y limpia representa una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana y para sustentar los ecosistemas terrestres y acuáticos. La provisión del agua permaneció relativamente constante durante mucho tiempo, pero ahora en muchos lugares la demanda supera a la oferta sostenible, con graves consecuencias a corto y largo término.* Se podría ampliar este párrafo con la lectura del artículo publicado en la revista AmbioCiencias con tratamiento monográfico sobre lo que es y significa el agua para nuestro planeta y para la especie humana (Luis, 2015). Con perspectiva complementaria, se trata de la pobreza del agua social, para dejar bien claro que grandes sectores de la población no pueden acceder al agua potable segura, o que el recurso del agua se muestra en el planeta con gran heterogeneidad en el espacio y en el tiempo, con fuertes repercusiones sobre todo para *los que padecen grave escasez* y, sin embargo, *se advierte un derroche de agua no sólo en países desarrollados, sino también en aquellos de menor desarrollo que poseen grandes reservas (Fig. 4).* Por otra parte, son frecuentes las enfermedades relacionadas con el agua, provocadas por microorganismos o por sustancias químicas.



**Figura 4.** Estimación de la disponibilidad de agua para el año 2025. Fuente: Global Water Initiative. 2005. GEF. International Waters Conference.

## Biodiversidad

Se dedica un apartado a tratar la problemática por pérdida de biodiversidad, reflejada en la desaparición de grandes extensiones de *selvas y bosques*, que implica al mismo tiempo la pérdida de especies que podrían significar en el futuro recursos sumamente importantes para cubrir múltiples servicios a la humanidad, desde el potencial valor de los genes hasta la capacidad para regular problemas ambientales. Pero no basta pensar en las distintas especies sólo como eventuales recursos explotables, olvidando que tienen un valor en sí mismas. Cada año desaparecen miles de especies vegetales y animales que ya no podremos conocer, que nuestros hijos ya no podrán ver, pérdidas para siempre. La inmensa mayoría se extinguen por razones que tienen que ver con alguna acción humana. Se resalta el hecho de la gran subjetividad humana cuando nos inquietamos por la desaparición de alguna especie singular o conspicua, olvidando que para el buen funcionamiento de los ecosistemas todos los organismos son necesarios. Algunas especies poco numerosas, que suelen pasar desapercibidas, juegan un rol crítico fundamental para estabilizar el equilibrio de un lugar.

Las actuaciones en la gestión ambiental, como las aplicaciones preventivas de evaluaciones de impacto ambiental sobre proyectos que implican algún deterioro significativo sobre el medio ambiente, se fijan fundamentalmente en detectar los efectos sobre el suelo, el agua o la atmósfera, pero no siempre se incluye un estudio cuidadoso sobre el impacto en la biodiversidad, como si la

*pérdida de algunas especies o de grupos de animales o plantas fuera algo de poca relevancia. Se hace referencia concreta a la importante reducción de hábitats y a la fragmentación de poblaciones biológicas que pueden aumentar el riesgo de extinción como consecuencia de algunas actuaciones concretas, para pedir a continuación que se busquen alternativas que mitiguen ese impacto, como la creación de corredores ecológicos que puedan mantener la conectividad entre individuos de la misma población biológica. Es necesario invertir mucho más en investigación para entender mejor el comportamiento de los ecosistemas y analizar adecuadamente las diversas variables de impacto de cualquier modificación importante del ambiente.*

Se destaca la importancia y los esfuerzos realizados en la preservación de lugares y zonas, tratando de controlar las *intervenciones humanas que puedan modificar la fisonomía o alterar la constitución original*. Se resaltan los consejos científicos para conservar las zonas del planeta de mayor riqueza de especies o con presencia de endemismos, así como aquellas que constituyen importantes reservas de agua. Se ofrecen como ejemplo de prioridad los pulmones verdes de la Amazonia o la cuenca del Congo, los grandes acuíferos, los glaciares y las barreras de coral.

También puede afectar gravemente a la biodiversidad *el remplazo de la flora silvestre por áreas forestadas con monocultivos de árboles*, los humedales transformados en cultivos, los manglares costeros sustituidos para otros usos, la sobreexplotación de los recursos pesqueros en los mares, ríos y lagos o el desperdicio por el desarrollo de formas selectivas de pesca en esos mismos ecosistemas, eliminando *componentes muy importantes de la cadena alimentaria, y de los cuales dependen, en definitiva, especies que utilizamos para alimentarnos. Debería hacerse un cuidadoso inventario de las especies que alberga cada territorio en orden a desarrollar programas y estrategias de protección, cuidando con especial preocupación a las especies en vías de extinción.*

### **Deterioro de la calidad de vida**

Se reserva un apartado para tratar de la relación entre la degradación ambiental y el deterioro de la calidad de la vida humana y sus efectos sociales, citando como ejemplo la insalubridad de muchas ciudades de crecimiento desmedido y desordenado, con estructuras ineficaces por el exceso en el gasto de energía y agua, con problemas de contaminación de todo tipo y sin suficientes espacios verdes. Por el contrario, en otros lugares, *se crean urbanizaciones “ecológicas” sólo al servicio de unos pocos con alta disponibilidad económica, donde se*

*procura evitar que otros entren a molestar una tranquilidad artificial.* Ejemplos de este tipo fueron mencionados en el reciente seminario internacional celebrado en la Universidad de Valladolid, sobre “Corredores ecológicos y planificación espacial” (**Fig. 5**), dirigido a especialistas en urbanismo (Jiménez, 2016; Holgersen et al., 2015).



**Figura 5.** El nuevo diseño “ecológico” de algunas ciudades puede provocar un giro hacia el elitismo social. Foto de M. Jiménez, 2015: Distrito del puerto de Västra en Malmö (Suecia).

### **Desarrollo sostenible**

El concepto de desarrollo sostenible queda entretejido a lo largo de toda la carta, simplemente para recordar que estamos en la obligación de cumplir con los acuerdos internacionales de la Cumbre de la Tierra de Estocolmo sobre Medio Humano (1972), la Declaración de Nairobi sobre Medio Ambiente (1982) o la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992). Esta última de importantes propuestas de ámbito global sobre gestión ambiental, cambio climático o diversidad biológica, donde se proclamó que *los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible*, y donde se aclara ese concepto, surgido del informe preparado para la ONU en 1987 bajo el epígrafe de “Nuestro Futuro Común”, y coloquialmente conocido como “Informe Brundtland”. Seguramente habrán sido consultados y analizados para la preparación de este texto todos los informes sobre las cumbres mundiales sobre el clima, tuteladas por las Naciones Unidas, desde la de Berlín en 1995, y fundamentalmente la conocida como Protocolo de Kyoto sobre Cambio Climático de

1997, o documentos igualmente de ámbito global como “La Carta de la Tierra” publicada en el año 2000, auspiciada por la UNESCO, y su antecedente más directo “La Carta Mundial de la Naturaleza” de 1982, ya que en el texto de la encíclica, aunque se reconocen los esfuerzos realizados y las ideas plasmadas en ellos, se enfatiza sobre *la debilidad de la reacción política internacional y cómo el sometimiento de la política ante la tecnología y las finanzas se muestra en el fracaso de las Cumbres mundiales sobre medio ambiente*. Concretamente se citan en la carta; el Convenio de Basilea (1986) sobre desechos peligrosos, la Convención CITES (1973) sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres, la Convención de Viena (1985) para la protección de la capa de ozono y su Protocolo de Montreal con las posteriores enmiendas, y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible denominada Río+20 (2012), de la que comenta que *emitió una extensa e ineficaz declaración final*. Sin embargo siempre hay un resquicio para la esperanza, ya que en la Cumbre de París (2015), mantenida con posterioridad a la publicación de la carta del Papa Francisco, se cierra un acuerdo histórico contra el cambio climático, con el objetivo de marcar la trayectoria para mantener el aumento de temperatura del planeta por debajo de los dos grados centígrados. Se señala específicamente que *“mientras se elaboraba esta Encíclica, el debate ha adquirido una particular intensidad”*.

La preocupación por encontrar soluciones se refleja en toda la presentación de la carta, resaltando mitos cargados de incertidumbre y advirtiendo sobre formas de actuación que pueden complicar el problema. *No hay un solo camino de solución*, sino posibles escenarios entre el extremo de *los que sostienen el mito del progreso y mantienen que los problemas ecológicos se resolverán con nuevas aplicaciones técnicas*, y los que entienden que debe impedirse cualquier intervención humana. Se alude repetidas veces al deseo de *avanzar en algunas líneas amplias de diálogo y de acción que involucren tanto a cada uno de nosotros como a la política internacional, insistiendo en el hecho evidente de que en el mundo todo está conectado*. Sin embargo resalta que *muchos de aquellos que tienen más recursos y poder económico o político parecen concentrarse sobre todo en enmascarar los problemas o en ocultar los síntomas, tratando sólo de reducir algunos impactos negativos del cambio climático*. Por otra parte, *el calentamiento por el enorme consumo de algunos países ricos tiene repercusiones en los lugares más pobres*, por lo que sería obligado pensar en una ética de las relaciones internacionales que compensara de forma efectiva esa *“deuda ecológica”*.

Los poderes económicos también aparecen en el centro de la diana sobre la inquietud en la consecución de soluciones adecuadas y efectivas. *Cuando sólo se busca un rédito económico rápido y fácil en la explotación de bienes y servicios de los ecosistemas, a nadie le interesa realmente su preservación, pero los costes ambientales finales serán muy superiores a los beneficios económicos. Los impactos ambientales podrían afectar a miles de millones de personas, pero es previsible que el control de los recursos imprescindibles por parte de grandes empresas mundiales se convierta en una de las principales fuentes de conflictos de este siglo.*

Siguiendo los principios del concepto de desarrollo sostenible, se evidencia un claro y justificado desasosiego por la situación medioambiental que heredarán las generaciones que están por venir. *Todavía no se ha logrado adoptar un modelo circular de producción que asegure recursos para todos y para las generaciones futuras.*

### **Raíz humana de la crisis ecológica**

Sobre la raíz humana de la crisis ecológica sentencia, en el primer apartado del capítulo tercero, que no nos servirá describir los síntomas si no reconocemos la causa. Hay que asumir que la disponibilidad de los bienes del planeta no es infinita y, aun suponiendo que lo fueran, su regeneración no es inmediata y los efectos negativos de las manipulaciones no son fácilmente absorbidos por la naturaleza. *La fragmentación de los saberes cumple su función a la hora de lograr aplicaciones concretas, pero suele llevar a perder el sentido de la totalidad, de las relaciones que existen entre las cosas, del horizonte amplio, que se vuelve irrelevante. Esto mismo impide encontrar caminos adecuados para resolver los problemas más complejos del mundo actual, sobre todo los del ambiente, que no se pueden abordar desde una sola mirada o desde un solo tipo de intereses. Buscar sólo un remedio técnico a cada problema ambiental que surja es aislar las cosas que en realidad están entrelazadas y esconder los verdaderos y más profundos problemas del sistema mundial.* Se termina con una reflexión muy repetida en los foros ambientalistas desde hace ya muchos años, cuando se resalta que *la correcta interpretación del concepto del ser humano como “señor” del universo consiste en entenderlo como administrador responsable.*

### **Ecología integral**

Teniendo en cuenta el concepto de que todo está íntimamente relacionado, y siguiendo el principio planteado en La Carta de la Tierra del año 2000, en



el capítulo cuarto se propone el tratamiento de *una ecología integral que incorpore claramente las dimensiones humanas y sociales*. Sobre la base científica de la ecología como ciencia que estudia las relaciones entre los organismos vivos y el ambiente donde se desarrollan, con interacciones dependientes entre el espacio y en el tiempo, se profundiza en el término “medio ambiente” como relación entre la naturaleza y la sociedad que la habita. Puesto que estamos incluidos en ella, que somos parte de ella, *es fundamental buscar soluciones integrales que consideren las interacciones de los sistemas naturales entre sí y con los sistemas sociales*. Sobre esa idea, al patrimonio natural habría que incorporar el patrimonio histórico, artístico y cultural, la calidad de vida y la proyección hacia un desarrollo sostenible que obligatoriamente vaya destinado a las generaciones futuras.

*Como nunca antes en la historia,  
el destino común nos hace un llamado a buscar un nuevo comienzo [...]  
Que el nuestro sea un tiempo que se recuerde por el despertar de una nueva reverencia ante  
la vida;  
por la firme resolución de alcanzar la sostenibilidad;  
por el aceleramiento en la lucha por la justicia y la paz  
y por la alegre celebración de la vida.*  
CARTA DE LA TIERRA. La Haya. 2000

### **Bibliografía**

- Doormann, L. 2012. Migraciones humanas por causas ambientales: secuelas del cambio global antropogénico. *AmbioCiencias*, 10: 27-38.
- Gore, A. 2007. *Una verdad incómoda*. Editorial Gedisa.
- Holgersen, S. and Malm, A. 2015. “Green fix” as crisis management. Or, in which world is Malmö the world’s greenest city?. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography* 97(4): 275-290.
- Jiménez Jiménez, M. 2016. Infraestructuras verdes urbanas en espacios multifuncionales. *Seminario internacional sobre corredores ecológicos y planificación espacial*. L. Santos (coordinador). Comunicación oral.
- Luis Calabuig, E. 2015. Agua. *AmbioCiencias*. 13: 5-23.
- NACIONES UNIDAS. 2000. *Carta de la Tierra*. La Haya.
- Schubert, R. et al. 2007. *Climate Change as a Security Risk*. German Advisory on Global Change (WBGU). Earthscan.

## DE TODO UN POCO

Durante el año 2016, la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León ha organizado y sido escenario de numerosos acontecimientos de carácter científico-investigador, docente, formativo y cultural.

Comenzaremos este recorrido haciendo una mención especial a D.<sup>a</sup> **Ángela Bernardo Álvarez** (León, 1988), licenciada en Biotecnología por la Universidad de León, especializada en comunicación médica y redactora de ciencia en *Hipertextual* desde 2012, que ha recibido en reconocimiento a su labor como divulgadora científica, un accésit del Premio Concha García Campoy de periodismo, en la categoría de prensa digital, por el reportaje titulado “*Descifrar un código Enigma tan peligroso como invisible*”. Este artículo reflexiona sobre el grave problema de las resistencias a los antibióticos, y las posibles soluciones que nos ofrece la ciencia relacionadas con la secuenciación del ADN. Nuestra más sincera enhorabuena.

### Innovación docente

En el ámbito de la Innovación Docente, debemos destacar los Proyectos del Plan de Apoyo a los Grupos de Innovación Docente (PAGID) (de la Universidad de León) desarrollados este año en la Facultad: '¡Resolviendo casos reales! - Adquisición de Competencias mediante la elaboración de trabajos técnico científicos y participación en Jornada Técnica para presentación de resultados' coordinado por la Dr.<sup>a</sup> Carmen Acedo, 'Integración de actividades destinadas a la adquisición de competencias de comunicación científica en Ciencias de la Vida' coordinado por el Dr. José Luis Acebes, y 'Viaje por la ciencia guiado por futuros científicos' coordinado por la Dr.<sup>a</sup> Blanca Razquín. En este último proyecto se desarrollaron diversas actividades de prácticas en laboratorio, elaboradas e impartidas por alumnos de tercer curso de los grados en Biología, Ciencias Ambientales y Biotecnología, bajo la supervisión de los profesores de la Facultad, y dirigidas a los alumnos de enseñanza secundaria. Participaron más de 200 alumnos de una quincena de IES de León y provincia (Astorga, La Bañeza, Veguellina de Órbigo y San Andrés del Rabanedo).

Una experiencia muy positiva, en la que unos y otros alumnos disfrutaron realizando y explicando experimentos científicos. También debemos hacer mención a las III Jornadas de Prácticas de Gestión de Flora desarrolladas en el

PAGID coordinado por la Dr.<sup>a</sup> Carmen Acedo, en las que D. Gaspar Bernández Villegas impartió la conferencia titulada “*Flora del Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia*”, y los alumnos de tercer curso de Ciencias Ambientales elaboraron y expusieron en forma de póster sus trabajos de prácticas. Por último, el PAGID coordinado por el Dr. José Luis Acebes, desarrolló metodologías activas mediante las cuales los alumnos pusieron a punto actividades de divulgación científica, entre las que cabe destacar la edición de programas de radio: “*Hablando en verde*” (elaborados por alumnos de 3.º de Biología), la implementación del concurso científico: “*Dolly vs. Bt*” (por alumnos de 3.º de Biotecnología) y la creación de un canal de video: “*Experimentos fascinantes con plantas*” (por alumnos de diversos cursos).



**Figura 1.** Alumnos de educación secundaria participan en el proyecto “Un viaje por la ciencia guiado por futuros científicos” (4 de febrero de 2016).

Finalmente, durante los días 29 y 30 de septiembre el Aula Magna de nuestra Facultad fue el escenario de la III Jornada de Innovación en Docencia Universitaria en la que se presentaron 26 proyectos desarrollados y aplicados al aula durante el pasado curso 2015-16 en la ULE.

### **Jornadas y conferencias**

En abril se celebró la quinta edición de las Jornadas de Orientación Profesional, organizadas por la Fundación General de la Universidad de León y de la Empresa (FGULEM) y la FCCBA. En estas jornadas, dirigidas a estudiantes de último curso de los Grados en Biología, Biotecnología y Ciencias Ambientales y a

los alumnos de máster, recibieron información sobre diferentes servicios de empleo, los perfiles que buscan las empresas de distintos sectores, la importancia y los fines de los colegios y asociaciones profesionales y la experiencia personal de antiguos alumnos.

Por su parte, la Asociación de Biotecnólogos de León (ABLe) organizó como ya es tradición a lo largo del mes de abril las V Jornadas ConCiencia, celebradas en el Museo de León, en las que docentes e investigadores impartieron varias charlas divulgativas para acercar y clarificar conceptos y temas de actualidad. Los temas tratados fueron: “*Aplicación de la biotecnología al campo de la depresión*” por el Dr. Albert Adell, “*La biotecnología alimentaria y sus implicaciones en nuestro día a día*” por la Dr.<sup>a</sup> Teresa María López, “*El uso de animales de laboratorio en la investigación biomédica*” por el Dr. Carlos César Pérez y “*¿Vacunas?: ipóntela, pónsela!*” por la Dr.<sup>a</sup> Margarita del Val.

El 6 de mayo se realizó en la Facultad una Jornada Formativa en Metodología en el Muestreo Aerobiológico organizada por las profesoras Delia Fernández, Rosa M<sup>a</sup> Valencia y Ana María Vega, del Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, con motivo del X Aniversario de la creación de la Red Castellano y Leonesa de Aerobiología, importante foro por su aportación a la salud pública. El Director General de Salud Pública de Castilla y León, presente en la inauguración, insistió en la necesidad de que biólogos y biotecnólogos estén presentes en el ámbito de la sanidad pública.

Las Jornadas Internacionales de Patología en Fauna Silvestre organizadas por AVAFES y celebradas el 13 de mayo en la Facultad reunieron a más de 60 alumnos de diferentes ámbitos relacionados con el medio ambiente. Los ponentes nacionales e internacionales expusieron sus trabajos sobre la problemática de diversas enfermedades que afectan a vertebrados salvajes como son la rabia, la tuberculosis o el ranavirus. Se destacó el problema de las especies en peligro de extinción, sobre todo de grupos tan amenazados como los anfibios.

Destacamos también la interesante proyección y posterior debate que tuvo lugar el 19 de mayo en el Aula Magna de la Facultad del documental “*El secreto del bosque: memorias del urogallo cantábrico*”. Este trabajo, realizado por los biólogos Manuel Antonio González y María Cano, recupera imágenes, testimonios y estudios de conservación de una especie que ya forma parte de la lista de especies 'en peligro de extinción'. Esta proyección fue posible gracias a la colaboración de la Oficina Verde. En el debate estuvieron presentes el director del documental, Manuel Antonio González, el catedrático jubilado de Zoología Francisco J. Purroy, y el periodista Pedro Trapiello.



**Figura 2.** Alumnos siguiendo una de las sesiones de las Jornadas Internacionales de Patología en Fauna Silvestre (13 de mayo de 2016).

Asimismo, durante el mes de mayo se impartieron las siguientes conferencias: el día 16 “*La revolución de las CRISPR en Biología*” por el Dr. Lluís Montoliu, (del Centro Nacional de Biotecnología, CSIC), organizada por asignaturas del grado en Biotecnología; y el día 20 “*Geoconservación: principios y métodos*” por el Dr. Luis Carcavilla Urquí (del IGME), organizada por GEOPAGE, FCCBA, Departamento de Geografía y Geología.

La Facultad participó, un año más, en la organización de la XI edición del Curso de Actualidad Científica y Cultural, propuesto por la ULE y patrocinado por la Fundación Carolina Rodríguez. El curso consistió en un ciclo de 12 conferencias impartidas en el Aula Magna de nuestra Facultad por profesionales altamente cualificados y de reconocido prestigio. Se celebró entre los días 18 de octubre y 29 de noviembre y fue coordinado por el Dr. Félix Busto, Vicedecano 1.º de la Facultad. Las conferencias fueron las siguientes: “*Las leguminosas en la historia de la Biología*” por José Ignacio Cubero Salmerón (Universidad de Córdoba); “*Miguel de Cervantes: Un poeta en el final de sus días*” por José F. Montero Reguera (Universidad de Vigo); “*Aspectos anatómicos diferenciales del aparato locomotor de los primates*” por Ignacio de Gaspar Simón (UCM); “*Transparencia y corrupción en la sociedad actual: Un diagnóstico y posibles soluciones*” por Jesús Lizcano Álvarez (UAM); “*Las ciencias sociales y los nacionalismos*” por José Álvarez Junco (UCM); “*El genoma humano y la evolución*” por Francisco Antequera Márquez (CSIC); “*Investigación ecológica, bienestar y síndrome de Peter Pan*” por Adrián Escudero Alcántara (Universidad Rey Juan

Carlos); “*Malta: La isla católica de la Corona Británica*” por Paulino César Pardo Prieto (ULE); “*Buceo en la Antártida: riesgos y aplicaciones en investigación*” por F. Javier Cristobo Rodríguez (Director Centro Oceanográfico de Gijón); “*Hábitos alimentarios en el nuevo milenio*” por M<sup>a</sup> Camino García Fernández (ULE), “*La Reforma laboral en el debate político*” por Joaquín García Murcia (UCM) y “*Lecciones de la Misión Rosetta. ¿Qué hemos aprendido de los cometas?*” por Rafael Rodrigo Montero (CSIC).

### Cursos y talleres

Los días 25 y 26 de mayo se impartió un Curso sobre Prevención de Riesgos Laborales por D. José Amez del Pozo, responsable de riesgos laborales de la ULE.

Además, la Facultad acogió diversos cursos de extensión universitaria y de verano como el de “*Técnicas de biología celular aplicadas al sistema nervioso*” bajo la dirección del Dr. Arsenio Fernández López, que incorporó un minisimposio online en colaboración con la Nottingham Trent University; “*Técnicas experimentales de biología celular aplicadas a la biología de la reproducción*”, bajo la dirección de la Dr.<sup>a</sup> María Paz Herráez Ortega; “*Biología de la conservación de flora y fauna en la cordillera Cantábrica*” bajo la dirección de las Dras. Marta Eva García y Raquel Alonso; o el “*Curso de micología forestal*” bajo la dirección del Dr. Arsenio Terrón.



**Figura 3.** Actividades realizadas en el curso de “Biología de la conservación de flora y fauna en la cordillera Cantábrica”.

El 6 y 7 de octubre se impartió el seminario sobre “*Radiactividad natural y salud*” organizado por las Áreas de Botánica y Física Aplicada de ULE, en colaboración con FCCBA y la Junta de Castilla y León, a cargo de Enrique Estrada Vélez, jefe del Servicio de Sanidad Ambiental de la Consejería de Sanidad de la Junta. Dirigido a estudiantes y técnicos de Salud, se analizaron aspectos como la radiación y materia viva, la dosimetría, la exposición, el riesgo y los dos mayores problemas: el radón y el agua fósil.

Durante los días 14, 15 y 16 de noviembre, dentro del programa de actividades de las fiestas de la Facultad se realizaron los talleres de “*Introducción al estudio de los tiburones*” organizados por la CZULE (Servicio de Colecciones Zoológicas de la ULE).

### **Congresos y otras actividades**

Los días 13, 14 y 15 de julio se celebró en Gijón el X Congreso Anual de Biotecnología que contó con la presencia de personalidades como Ian Goodfellow, (Director de la División de Virología de la Universidad de Cambridge), Marc Van Montagu (inventor de la transformación por *Agrobacterium*), o el investigador y exministro de sanidad, Bernat Soria. Este congreso aúna a todos los sectores científicos y profesionales de la Biotecnología, en torno a dos módulos: el sciBAC, el congreso científico de FEBiotech; y el estuBAC, el Congreso Universitario de FEBiotech, centrado en las perspectivas profesionales de este sector. León acogerá el BAC 2017, que será organizado por la Asociación de Biotecnólogos de León (ABLE) y la Federación Española de Biotecnólogos (FEBiotech). Esperamos con ilusión este nuevo evento.

Los días 12, 13 y 14 de septiembre se celebró en la FCCBA el VI Congreso de Microbiología Industrial y Biotecnología Microbiana CMIBM 2016 auspiciado por el Grupo de Microbiología Industrial y Biotecnología Microbiana de la Sociedad Española de Microbiología (SEM). A este importante evento asistieron un centenar de investigadores de prestigio procedentes de universidades nacionales e internacionales y de distintas empresas del sector biotecnológico. Las sesiones científicas abordaron temas de Biotecnología Ambiental, Bioenergía y Combustibles, Biotecnología Farmacéutica, Biotecnología Agrícola, Biotecnología de Alimentos, Biotecnología Enzimática y Biotecnología Molecular. Constituyó un excelente foro de discusión e intercambio de ideas en el que también participaron nuestros alumnos de Biología, Biotecnología y Ciencias Ambientales.



**Figura 4.** VI Congreso de Microbiología Industrial y Biotecnología Microbiana. Aula Magna de la FCCBA.

El 24 de mayo se celebró en nuestra Facultad el II Concurso de Mielles ULE-Uzarpa en el que se valoraron 10 muestras de miel. El jurado profesional estuvo formado por Bernardo Prieto, profesor del Departamento de Higiene y Tecnología de los Alimentos, Juanjo Losada, cocinero-chef del restaurante Pablo de León, Adolfo Benéitez, presidente de la Asociación de Sumilleres de León, Pablo Gutiérrez, apicultor y gerente de Industria del Envase y el escritor Alberto Rodríguez Torices. El jurado público estuvo integrado por una decena de estudiantes y ciudadanos interesados en asistir a esta cata, que fue dirigida por la profesora Rosa Valencia.

Los 7 alumnos de la II Promoción del Bachillerato de Investigación/Excelencia en Ciencias y Tecnología del Instituto Claudio Sánchez Albornoz presentaron el 22 de abril con éxito sus proyectos de investigación en el Salón de Grados de la FCCBA. Recordamos que estos alumnos han cursado el Bachillerato de Investigación/Excelencia (BIE) gracias a un convenio de colaboración suscrito entre la Universidad de León y la Consejería de Educación para la implantación y desarrollo de este BIE en nuestra Facultad. Profesores, investigadores y alumnos, coinciden en el éxito formativo de esta iniciativa.



### La fiesta de nuestra Facultad

El 18 de noviembre de 2016 se celebró el acto académico de nuestra Fiesta de San Alberto Magno, en el que el profesor Dr. Marcelino Pérez de La Vega, catedrático de Genética de la ULE, impartió la conferencia titulada “*La pequeña historia de la Genética. Reflexiones en el año de las legumbres*”. Así mismo, se anunciaron en este acto los premios anuales 'DSM-Vitatene Awards for Academic Excellence' y 'Premio Fin de Carrera Gadea Biopharma' a los mejores expedientes de los Grados en Biotecnología y Biología, que recayeron en Dña. María Lastra Cagigas y Dña. Ana Belén Dávila Aguado, respectivamente. La Comisión acordó también felicitar por la brillantez de su expediente a D. Andoni Gómez Moreno. Además, el Ilustre Colegio de Economistas de León hizo entrega de un reconocimiento al mejor expediente del grado en Ciencias Ambientales, que correspondió a D. Jorge García Girón.



**Figura 5.** Alumnos del Grado en Ciencias Ambientales recogen sus insignias en la Festividad de San Alberto (18 de noviembre de 2016).



**Figura 6.** Laura Lastra Cagigas recibió el Premio DSM-Vitatene al mejor expediente en el Grado en Biotecnología.

Finalizamos esta sección de AmbioCiencias con un reconocimiento a la Dr.<sup>a</sup> Blanca Razquín y su equipo por la labor realizada durante los últimos seis años en el Decanato de nuestra Facultad, al tiempo que damos la bienvenida al nuevo equipo decanal, a quien deseamos los mayores éxitos en su gestión.

Si tienes alguna sugerencia o quieres enviarnos tus artículos, tu proyecto de tesis o alguna fotografía para la portada, ponte en contacto con nosotros:

[ambiociencias@unileon.es](mailto:ambiociencias@unileon.es)

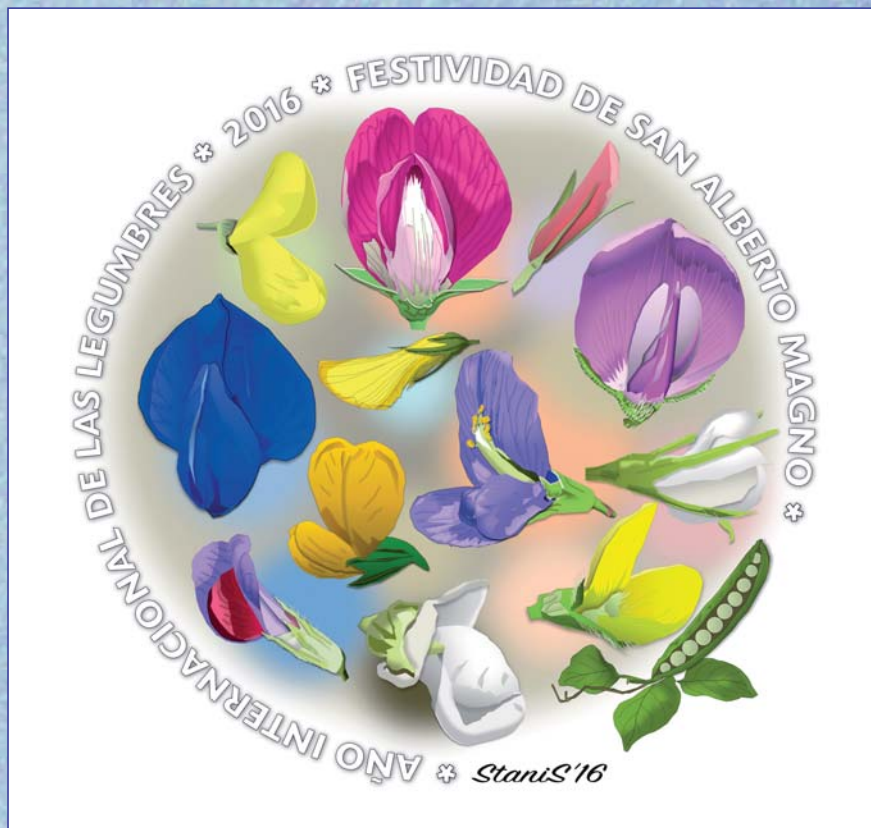
La edición electrónica de la revista se puede consultar en:

<http://centros.unileon.es/biologia/ambiociencias1/>



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN

**En contraportada:** logotipo diseñado por el Dr. Estanislao Luis Calabuig con motivo de la festividad de S. Alberto Magno (2016), en conmemoración del Año Internacional de las Legumbres.



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN