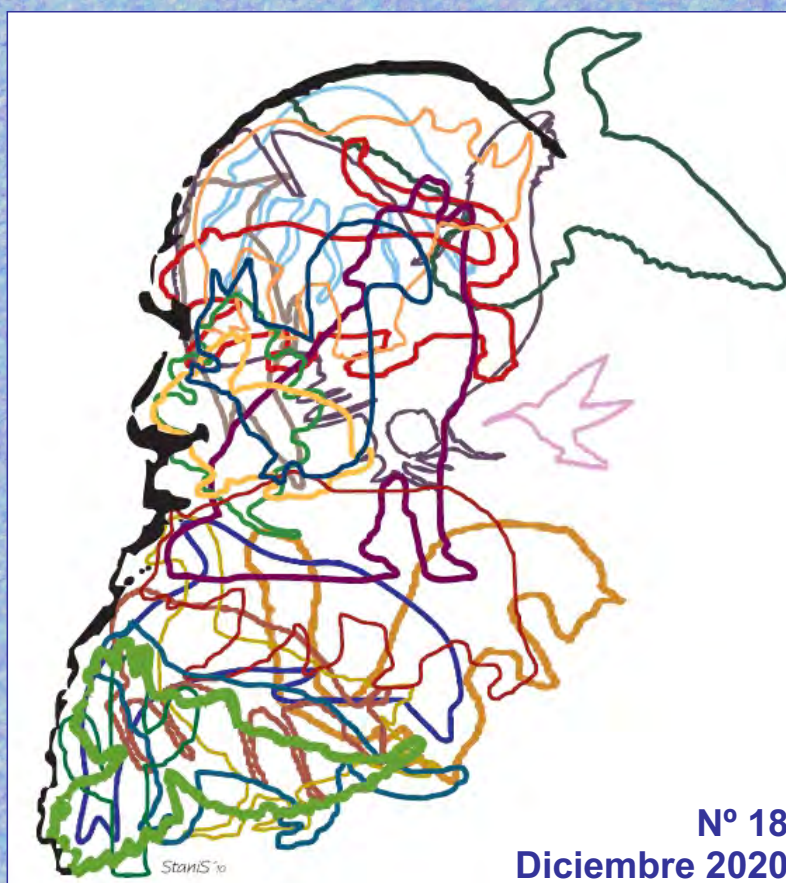


Ambio ciencias



REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN DOCENTE



Nº 18
Diciembre 2020

★ 1968 ★



★ 2020 ★

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN



Consejo de Redacción

Director:

José Luis Acebes Arranz

Catedrático de Universidad del Área de Fisiología Vegetal

Secretaria:

Sara del Río González

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

Miembros:

María Paz Herráez Ortega

Catedrática de Universidad del Área de Biología Celular

Estanislao de Luis Calabuig

Catedrático de Universidad del Área de Ecología

Luis Mariano Mateos Delgado

Catedrático de Universidad del Área de Microbiología

Luis E. Sáenz de Miera Carnicer

Profesor Titular del Área de Genética

Raquel Alonso Redondo

Profesora Titular del Área de Botánica

Daniela Canestrari

Profesora Contratada Doctor del Área de Zoología

Giovanni Breogán Ferreiro Lera

Alumno de 4º curso del Grado en Biología

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





En portada:

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

ÍNDICE

Editorial

El motor del entusiasmo en la investigación y la docencia 3

A fondo

Coronavirus

Pedro Rubio, Ana Carvajal5

Poniendo en claro

Modelos animales de carcinoma hepatocelular y sus aplicaciones en biomedicina

Irati López de la Pisa19

Papel de la microbiota intestinal en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer

Irene Fernández Martín31

Siguiendo la pista

Evolución en la distribución de las pectinas en la zona de unión en injertos de tomate

Nerea Martínez Romera, Carlos Frey, José Luis Acebes41

La conservación preventiva de los bienes culturales

Paolo Mandrioli57

Baúl de la ciencia

Contribución al desarrollo de la piscicultura continental de aguas cálidas en el sur de Venezuela

Luis Eduardo Pérez Álvarez.....71



Uno de los nuestros

Santos Ovejero del Agua. Catedrático de la Facultad de Veterinaria y su relación con la de Biología de León

Elías F. Rodríguez Ferri.....83

Ambiólogos de aquí

Descubrimiento de antibióticos mediante ordenadores

César de la Fuente Núñez99

Mi proyecto de tesis

Transmisión de la toxicidad del bisfenol A por vía paterna: alteraciones espermáticas y fallos en el desarrollo embrionario

Marta Lombó Alonso102

Educando en lo nuestro

Prácticas de alto impacto y aprendizaje activo para la adquisición de competencias específicas en botánica

Carmen Acedo, Estrella Alfaro-Sáiz, Yasmina Alonso, Ana B. Fernández-Salegui, Darío Fernández-Santos, Graciela González-Sierra, Carmen Lence, Raúl Lois, Alicia Pérez-Llamazares, Sara Santamarina, Sonia Trobajo106

Comentando lo publicado

Comentando *El sentido del progreso desde mi obra*. Miguel Delibes Setién, 1975. Discurso de ingreso en la Real Academia Española.

Estanislao Luis Calabuig121

De todo un poco

Noticias de actualidad.....135



EDITORIAL

El motor del entusiasmo en la investigación y la docencia

Se acaban de cumplir cien años de la creación del Centro de Investigaciones Biológicas o Instituto Cajal¹, del cual fue nombrado director don Santiago Ramón y Cajal, quien ocupó el cargo hasta 1934. Aunque haya pasado un siglo desde el acontecimiento, las actitudes y los principios que regían la actividad investigadora y docente de nuestro premio Nobel siguen teniendo plena vigencia. Fijémonos ahora brevemente en una de estas actitudes: su entusiasmo.

Ramón y Cajal llegó a decir: *El explorador de la Naturaleza debe considerar la investigación como un sport incomparable, en el cual todo, desde los procederes técnicos hasta la elaboración doctrinal, constituye un perenne manantial de gratas satisfacciones. Quien en presencia de un arduo problema no sienta crecer su entusiasmo, a medida que el entendimiento redobla sus esfuerzos; quien, al aproximarse el solemne momento del fiat lux, impacientemente esperado, no tenga el alma inundada por la emoción precursora del placer, debe abandonar las empresas científicas, porque la Naturaleza no otorga sus favores a los fríos de condición, y la frialdad es a menudo inequívoco signo de impotencia².*

Podemos afirmar que el entusiasmo es el motor no declarado tanto de la actividad investigadora como de la actividad docente: es la fuente de energía que predispone a dedicar tiempo y esfuerzo a tareas que otros muchos considerarían ingratas, y que anima a superar dificultades que otros tacharían como insalvables. La necesidad de entusiasmo se aplica al investigador, al alumno, al profesor y a todos cuantos integramos la Universidad. Quien lo pierde se jubila anticipadamente, y quien lo olvida se apunta a engrosar la lista de los descontentos por sistema.

La Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León ha optado por el cultivo del entusiasmo, muestra de lo cual es la apuesta por la revista *AmbioCiencias*, que ya va por la edición de su décimo octavo número, y que a lo largo de este año ha renovado su Consejo de Redacción. Agradezco en nombre de la Facultad y del Consejo de Redacción entrante el buen hacer y la dedicación del equipo anterior en general, y del Dr. Juan Manuel Nieto Nafría, su anterior director, en particular.

¹«Se crea un Instituto para investigaciones biológicas, que llevará el nombre de “Instituto Cajal”» (Real Decreto del 20 de febrero de 1920).

² Discurso de ingreso del Sr. D. Santiago Ramón y Cajal leído 5 de diciembre de 1897 ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, sobre el tema *Fundamentos racionales y condiciones técnicas de la investigación biológica*.

Es fácil comprobar que el entusiasmo y la pasión por la ciencia y la docencia es el denominador común de los once artículos que se despliegan a continuación, tan diversos por lo demás. Esta diversidad proviene de la procedencia de sus autores, ya que algunos de ellos son alumnos de grado o máster, o bien profesores o investigadores de esta Facultad, mientras que otros son profesionales egresados de nuestras aulas y, por último, otros más son investigadores, vinculados de una manera u otra a nuestra Universidad, y que han desarrollado y siguen llevando a cabo actividades científicas relevantes.

Los artículos son diversos también en cuanto a la procedencia geográfica de las investigaciones: la mayoría de ellas provienen de laboratorios de la Universidad de León, pero unos cuantos artículos se centran en actividades desarrolladas en países allende nuestras fronteras, como Italia, Venezuela o Estados Unidos.

Por último, los artículos son también diversos en cuanto a su temática, ya que se centran en aspectos concretos de la biomedicina, la protección del patrimonio, la biología de las plantas, la piscicultura, la biología sintética y la biotecnología, o la innovación docente.

No podía faltar en este año 2020 un artículo sobre los coronavirus, en estos tiempos de pandemia que estamos padeciendo, y que tanto han interferido con nuestras tareas docentes e investigadoras (y a la cual, dicho sea de paso, hemos tenido que enfrentarnos derrochando creatividad y entusiasmo). El artículo se inscribe en la sección *A fondo*, y ha sido elaborado por los doctores Pedro Rubio y Ana Carbajal, investigadores de nuestra Universidad, relevantes en este campo.

Otro de los artículos singulares de este número es el firmado por el Dr. Elías F. Rodríguez Ferri, con ocasión del cuarenta aniversario de nuestra Facultad, en este caso evocando al Dr. Santos Ovejero, que tanto tuvo que ver con la creación de nuestro centro.

Y para terminar como hemos empezado —evocando un centenario— cabe destacar el artículo del Dr. Estanislao Luis Calabuig como homenaje al escritor y periodista Miguel Delibes Setién con ocasión del centenario de su nacimiento.

En nombre del Consejo de Redacción actual pongo de manifiesto el compromiso común por hacer crecer la llama del entusiasmo en *AmbioCiencias*, siguiendo el estímulo de D. Santiago Ramón y Cajal. Quedamos a disposición de quienes se acerquen a estas páginas, para satisfacer sus demandas y seguir apostando por una revista comprometida con la divulgación científica y la innovación docente.

José Luis Acebes
Director de *AmbioCiencias*

A FONDO

Coronavirus

Pedro Rubio, Ana Carvajal. Enfermedades Infecciosas. Dpto. de Sanidad Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de León

Resumen

Las enfermedades causadas por coronavirus son conocidas y han sido estudiadas en veterinaria muchos años antes que en medicina humana por su importancia y por sus efectos en distintas especies de aves y de mamíferos. La primera vacuna contra una enfermedad por coronavirus en animales, la bronquitis infecciosa aviar, se desarrolló en 1950 mientras que el primer coronavirus humano se describió en 1965.

En el presente trabajo se hace una revisión histórica de los aspectos que pueden ser más interesantes de las enfermedades causadas por coronavirus, aportando algunas experiencias propias con enfermedades causadas por coronavirus en el cerdo, algunas de ellas emergentes e ilustrativas de lo que son estas enfermedades.

Se resaltan las características epidemiológicas de las zoonosis causadas por coronavirus, su origen y el carácter preocupantemente emergente de las mismas en medicina humana; es por esto que el conocimiento de los antecedentes de la pandemia actual causada por SARS-CoV-2 resultan muy elocuentes a la hora de interpretar la actual emergencia sanitaria, que aunque sorpresiva no resulta un hecho inesperado.

Introducción

En 1968 se publicó una nota en la revista *Nature*: “*Un nuevo grupo de virus con el nombre de coronavirus ha sido reconocido por un grupo informal de virólogos...*”. Según los firmantes, estos virus de morfología redondeada y con proyecciones externas, al ser observados al microscopio electrónico se parecían a la corona solar y propusieron denominarlos coronavirus. En 1975 el comité internacional para la taxonomía de virus (*International Committee on Taxonomy of Viruses*; ICTV) los clasificó en la nueva familia *Coronaviridae*.

Los virus de esta familia tienen una envoltura y un genoma de ARN monocatenario de polaridad positiva de 27 a 32 kilobases, el de mayor tamaño de todos los virus ARN. El ARN vírico sirve de ARN mensajero (ARNm) para sintetizar las proteínas del virus en las células hospedadoras, entre las que se encuentra una ARN polimerasa dependiente de ARN (ARNpARNd), la cual será utilizada para generar otros transcritos (subgenomas) y finalmente para replicar el genoma completo.

Forma de mencionar este artículo: Rubio, P., Carvajal, A. 2020, Coronavirus. AmbioCiencias, 18, 5-18. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

El ICTV clasifica actualmente a los coronavirus que nos interesan en la subfamilia *Coronavirinae*, que a su vez se divide en los géneros *Alphacoronavirus*, *Betacoronavirus*, *Gammacoronavirus* y el aún no reconocido *Deltacoronavirus*. El más diverso es el *Betacoronavirus*, que engloba los subgéneros *Embecovirus*, *Hibecovirus*, *Merbecovirus*, *Novecovirus* y *Sarbecovirus* y muchos otros virus aún no clasificados, con un porcentaje alto de ellos detectados en murciélagos.

Los análisis evolutivos han llevado a la conclusión de que los murciélagos y los roedores son el origen principal de *Alfa-* y *Betacoronavirus*, mientras que las aves constituyen el reservorio principal de *Gamma-* y *Deltacoronavirus*, indicando que los coronavirus han cruzado las barreras de especie, pasando de un animal a otro a lo largo de miles de años (Cui *et al.*, 2019).

Los murciélagos son reservorios de multitud de virus porque las adaptaciones que estos mamíferos han adquirido para soportar las consecuencias del elevadísimo gasto metabólico que necesitan para el vuelo y para hacer frente a las moléculas oxidantes perjudiciales (especies reactivas) les han permitido adaptar eficazmente su sistema inmune para soportar infecciones por muchos virus sin padecer enfermedades (Subudhi *et al.*, 2019).

Hay una cantidad enorme de especies de coronavirus, la mayor parte *Betacoronavirus*. Un estudio reciente de EcoHealth Alliance (<https://www.ecohealthalliance.org/>), del Instituto de Virología de Wuhan y de otras instituciones, describe la detección de 630 nuevas secuencias de coronavirus en murciélagos. Está aún arrancando el *Global Virome Project* (<http://www.globalviromeproject.org/>) cuyo objetivo es encontrar virus zoonóticos y prevenir pandemias futuras. Se espera que aporte miles de secuencias de nuevos coronavirus.

Primeros coronavirus animales

Los coronavirus eran conocidos mucho antes en el mundo veterinario que en medicina humana. En 1931 dos veterinarios describieron una “bronquitis infecciosa” que afectaba a los pollos y en 1933 se comprobó que estaba causada por un agente “filtrable” (Fabricant, 1998). En 1936 se demostró que estaba causada por un virus, el virus de la bronquitis infecciosa (en inglés IBV) y en 1937 se consiguió cultivarlo en embriones de pollo, siendo esta la primera descripción de una enfermedad causada por coronavirus. Los veterinarios trabajaron con gran eficacia con este primer coronavirus cuando las técnicas de laboratorio no se parecían ni remotamente a las actuales.

El virus de IBV es del género *Gammacoronavirus*, en el que está también

clasificado otro virus aislado de las ballenas beluga (*Delphinapterus leucas*).

En 1940, un veterinario de la Universidad de Massachusetts demostró que era posible proteger a las gallinas exponiéndolas al coronavirus IBV atenuado por pases sucesivos en embriones de pollo. Poco después, al comienzo de los años 50 se desarrolló la primera vacuna con la cepa que había desarrollado, la “Van Roekel M41” (cepa Massachusetts), que fue la primera vacuna frente a una enfermedad por coronavirus (Jordan, 2017).

En 1963, también antes de conocerse el primer coronavirus humano, Jean Holtzworth, del *Angell Memorial Animal Hospital*, en Boston (EE. UU.), describió una enfermedad en los gatos a la que llamó “peritonitis crónica fibrosa”. En 1966 dos veterinarios de la Universidad de Ohio reprodujeron la enfermedad experimentalmente, la denominaron con su nombre actual, peritonitis infecciosa felina y propusieron que estaba causada “por un agente pequeño como un *mycoplasma* o un virus”, aunque no consiguieron demostrarlo. En 1970 se indicó el parecido de este virus con los coronavirus conocidos y en 1976 se consiguió cultivarlo por primera vez (Pedersen *et al.*, 1981). También hay una vacuna comercial contra esta enfermedad, que en una de sus formas clínicas es mortal para el gato.

Coronavirus del cerdo

Nuestro grupo de investigación, especializado en infecciones digestivas del cerdo, ha trabajado sobre dos enfermedades causadas por coronavirus: la gastroenteritis transmisible (GET) y la diarrea epidémica porcina (DEP); fruto de la investigación sobre esos virus se han realizado cuatro tesis doctorales y una más está en proceso de elaboración.

Ambas enfermedades tienen una historia ilustrativa. La GET se describió en 1946 y en 1954 se descubrió que estaba causada por un virus, aislado en 1968 e identificado en 1970 como un representante de coronavirus. La GET fue una enfermedad importante durante décadas, sobre todo en América, pero también en Europa (Laude *et al.*, 1990).

Frecuentemente se habla de las mutaciones como algo que confiere nuevas capacidades a los virus para ser más virulentos, pero en el caso del virus de la GET sucedió lo contrario. El Prof. Pensaert, con el que hemos colaborado, fue Catedrático de Virología de la Facultad de Veterinaria de Gante (Bélgica). En 1984 detectó un aumento súbito del porcentaje de cerdos con anticuerpos frente al virus causante de la GET sin que hubiera aumentado la incidencia de la enfermedad y en 1986 descubrió que una pequeña mutación en el genoma del virus digestivo de la GET había generado un nuevo virus, al que llamó coronavirus

respiratorio porcino (CVRP). La mutación afectó a la proteína S de las espículas (*spike*) que conforman la corona, e hizo que el nuevo virus se comportara de una forma totalmente diferente; este virus tiene tropismo por el aparato respiratorio y causa una infección inaparente o muy leve. Al ser un virus respiratorio se difundió rápidamente en la población porcina europea y la inmunizó contra el virus digestivo porque ambos son muy similares antigénicamente (Laude *et al.*, 1993).

La mutación fue una gran ventaja evolutiva para el virus. El CVRP se transmite por el aire y no provoca cuadro clínico, por lo que se difunde con mucha facilidad por el aire o por cerdos portadores asintomáticos y alcanzó pronto a la mayoría de las granjas. España entró en la UE en 1986 y hasta entonces no importábamos cerdos de otros países. Cuando se abrieron las fronteras, el CVRP llegó de inmediato con cerdos importados y se difundió rápidamente. En este caso, la mutación evolutivamente ventajosa para el virus fue también ventajosa para los hospedadores, los cerdos. Al infectarse con el virus respiratorio quedaban inmunizados frente al virus digestivo, dando lugar a un auténtico fenómeno de “vacunación natural” de la población.

Actualmente continuamos trabajando con el virus de la DEP, que tiene una historia distinta. La enfermedad se describió en 1976 y de nuevo el grupo del Prof. Pensaert aisló un virus desconocido con morfología de coronavirus en 1977. La DEP es una enfermedad similar a la GET aunque más leve. Está presente en cerdos de muchos países europeos y en España hubo numerosos brotes en la década de 1990 y sigue habiendo casos actualmente (Carvajal *et al.*, 2015).

El virus de la DEP llegó a Asia, aunque no se pudo determinar su origen y durante años en China y Corea del Sur hubo brotes similares a los de Europa, pero en el invierno de 2009-2010 empezó un brote muy grave en el sur de China, la zona más productora del mayor productor mundial de cerdos. La zona tenía un censo de más de 400 millones de animales, y decimos tenía porque la llegada reciente de la peste porcina africana, una de las enfermedades más graves del cerdo, ha hecho que su censo sea actualmente de unos 150 millones de cerdos menos.

Esta nueva forma de la DEP afectó a cerdos de todas las edades, causando una diarrea grave con mortalidades en lechones de hasta el 90 % y rápidamente se extendió por todo el país causando la muerte a muchos millones de lechones.

Se comprobó que el virus original de la DEP también había sufrido una mutación en la proteína S de las espículas, pero en este caso se había originado un virus mucho más virulento que el original, al contrario de lo que había sucedido con el virus de GET.

En el continente americano no había habido nunca DEP, pero en 2013 llegó a EE. UU. la cepa china virulenta del virus que se extendió rápidamente y pasó después a otros países americanos. Se ha calculado que, solo en EE. UU., la DEP mató inicialmente a más de 8 millones de lechones aparte de otras pérdidas en reproductores y cerdos de cebo. Una auténtica catástrofe. Se sabe que el virus procedía de China porque su secuencia era casi idéntica a la cepa “CHN/AH2012”, esta última muy extendida en China y muy virulenta. Actualmente no se sabe cómo llegó este virus a EE. UU., pero todo apunta a que pudo llegar en materias primas para la elaboración de piensos, probablemente a través de la contaminación de los contenedores empleados en el transporte (Huang *et al.*, 2013).

La difusión de esta variante muy virulenta de la DEP causó alarma en Europa, temiendo las consecuencias que pudiera tener en la industria porcina. En España, en 2014 el Ministerio de Agricultura financió un proyecto a nuestro laboratorio, realizando de esta forma el primer estudio de la situación epidemiológica y del impacto de la enfermedad por DEP. No era ni mucho menos tan grave como lo que estaba pasando en EE. UU., pero aun así en los brotes de ese año la mortalidad media de los lechones lactantes fue elevada.

En una segunda fase del proyecto se estudiaron los virus que estaban circulando en España, secuenciando el genoma completo de algunos de ellos y concretamente en el gen S de las espículas de 24 aislados, incluyendo muestras de los años 90 que aún conservábamos. Comprobamos que los virus que circulaban en España en 2014 y también los de los años 90 eran similares a variantes mucho menos virulentas del virus (denominadas INDEL) que presentaban algunos cambios en el gen para la proteína S. Esta menor virulencia explicaba que el cuadro clínico fuera mucho más leve que el descrito en EE. UU., afortunadamente para las empresas productoras de porcino españolas y europeas (de Nova *et al.*, 2020).

Emergencia de nuevos coronavirus en el cerdo

Los coronavirus del cerdo están dando en tiempos recientes sorpresas llamativas. En 2009 en Italia hubo problemas en granjas con diarrea acuosa en cerdas reproductoras y mortalidad en lechones, aunque menor que la habitual en brotes de DEP o de GET. Los resultados de laboratorio aplicando técnicas convencionales eran poco concluyentes y, tras los análisis genómicos, se describió un nuevo representante que se denominó coronavirus entérico porcino (*Swine Enteric coronavirus*, SeCoV) (Boniotti *et al.*, 2016). Este se había originado por recombinación de los dos virus digestivos “clásicos”, el causante de DEP y el de GET. En algún momento y en algún lugar, algún cerdo fue infectado a la vez por

los dos virus citados que recombinaron sus genes y originaron un virus nuevo, demostrando una vez más la elevada capacidad natural de los coronavirus para la recombinación. Después se describió la presencia de este virus en otros países europeos.

En nuestro grupo hemos estudiado muestras actuales y las que conservábamos desde 1993 y se ha comprobado que este virus recombinante estaba ya circulando en España al menos desde ese año (de Nova *et al.*, 2020). El virus había pasado desapercibido porque en los años 90 no estaban disponibles las técnicas de secuenciación actuales. Las técnicas que se usaban entonces daban reacciones cruzadas con el virus causante de DEP y las muestras se consideraban positivas para este virus. Por tanto, el virus recombinante pudo haberse originado hace más de 25 años.

El coronavirus SeCoV es considerado nuevo porque se ha identificado y diferenciado recientemente, pero realmente es bastante más “viejo” de lo que se pensaba. En España estaba desde la década de 1990 y, dado que en España no hubo prácticamente casos de GET, también es posible que se originara por recombinación del virus de la DEP y del CVRP, el coronavirus respiratorio porcino derivado del virus digestivo de la GET. Se ha demostrado experimentalmente que una cepa del virus de la DEP de alta virulencia puede infectar células de la cavidad nasal y llegar después al intestino, por lo que la posibilidad de recombinación del virus de la DEP con el CVRP no es descabellada.

Las sorpresas con los coronavirus del cerdo no habían acabado; en 2009 se encontraron en China coronavirus nuevos y diferentes en aves, ahora clasificados en el género *Deltacoronavirus* (DCoV), creado *ex profeso* para ellos. Poco después, en 2012, el mismo grupo de investigación estudió muestras de diversos mamíferos (leopardos asiáticos, gatos, perros, cerdos, roedores, monos y humanos) y de distintas especies de aves. Solo encontraron *Deltacoronavirus* en aves silvestres y en cerdos, con un 10 % de las muestras de cerdos positivas. Estos autores describieron 7 nuevos coronavirus, entre ellos uno presente en cerdos, al que llamaron PDCoV HKU15 (Wang *et al.*, 2015). En 2014, el Departamento de diagnóstico veterinario de la Universidad de Iowa (EE. UU.), recibió muestras de una granja con un brote agudo de diarrea que afectaba a cerdas y lechones. En estas muestras se identificó un *Deltacoronavirus* que se denominó USA7IA/2014/8734, diferente del virus HKU15 de procedencia china, pero con una homología del 99 %, lo que indicaba una potencial nueva importación de este otro coronavirus desde China (Li *et al.*, 2014).

Poco después el laboratorio de diagnóstico veterinario de la Universidad de Minnesota (EE. UU.) encontró en muestras de cerdos con diarrea otro repre-

sentante de *Deltacoronavirus*, el SDCV/USA/Illinois121/2014, con la misma homología del 99 % con las cepas virales de origen chino (Marthaler *et al.*, 2014). Después se identificaron virus similares en otros estados, y un estudio retrospectivo demostró que el virus llevaba presente en EE. UU. al menos desde agosto de 2013. También se identificaron *Deltacoronavirus* con una gran homología en su genoma en cerdos en Canadá, Corea del Sur, China, Tailandia, Laos y Vietnam.

El PDCoV causa en las granjas un cuadro de diarrea acuosa en cerdos de todas las edades con mortalidad alta en lechones, considerándose un virus emergente aún poco conocido y estudiado.

En 2016 aparece un nuevo coronavirus causante de diarrea en cerdos, de nuevo con procedencia China; en octubre de ese año hubo un primer caso de diarrea grave en Guandong, cerca de donde apareció en 2002 el primer caso humano de SARS-CoV. El cuadro incluía vómitos y diarrea aguda en lechones lactantes con una mortalidad de hasta el 90 % cuando tenían menos de 5 días de vida. Las cerdas madre padecían solamente una diarrea leve y se recuperaban en 2-3 días.

Cuando se hizo un análisis metagenómico de muestras de intestino de los lechones, se detectó un nuevo coronavirus al que se denominó SADS-CoV (*Swine Acute Diarrhea Syndrome Coronavirus*) que era muy similar al *Betacoronavirus* HKU2 aislado de murciélagos de herradura chinos del género *Rhinolophus*, de los que ya se conocía que eran el reservorio del virus humano del SARS (Zhou *et al.*, 2018). Después se identificaron virus muy relacionados en casi el 10 % de muestras de heces de murciélago recogidas de zonas próximas, sobre todo en los murciélagos del género *Rhinolophus*.

¿Qué enseñanzas podemos sacar a partir del conocimiento relativo a los representantes de coronavirus del cerdo? La aparición del mutante respiratorio del virus de GET señala su capacidad de mutación. Este virus se difundió además con gran rapidez por toda la cabaña porcina de Europa, lo que resalta la facilidad de difusión de los coronavirus respiratorios, como el de la pandemia actual.

Ha habido discusiones bizantinas sobre si el SARS-CoV-2 se transmite o no por aerosoles y algunas autoridades han dicho repetidamente que “no había evidencias científicas”. Conociendo de forma genérica la epidemiología de los coronavirus, en principio, hay que dar por supuesto que se transmiten por aerosoles y, en todo caso, habría que buscar evidencias científicas de lo contrario.

Por otra parte, los coronavirus del cerdo han puesto de manifiesto que también hay mutaciones que pueden dar lugar a nuevos virus o nuevas cepas virales más virulentos/as, como las cepas asiáticas del virus de la DEP. Además,

también hay recombinaciones, como el caso del coronavirus entérico porcino originado por recombinación del virus de la GET y el de la DEP.

Por último, los coronavirus del cerdo indican que emergen nuevos coronavirus que afectan al cerdo, pero que proceden de otras especies. Los nuevos *Deltacoronavirus* proceden mayoritariamente de aves mientras que los *Beta-coronavirus* y *Alphacoronavirus* tienen su origen en murciélagos.

Ya hemos indicado que los murciélagos son el reservorio de una enorme cantidad de virus, entre ellos muchos coronavirus. Hay una magnífica base de datos de virus asociados con murciélagos (*Data Base of Bat-Associated Viruses*) que registra 2.286 virus asociados a los murciélagos frugívoros, (*Megachiroptera*), 8.527 asociados a las distintas familias de murciélagos de pequeño tamaño (*Microchiroptera*), y otros 601 asociados a quirópteros sin clasificar, con un total de 11.414 representantes virales; de ellos, 4.027 (35 %) pertenecen al grupo de coronavirus, por lo que el porcentaje de coronavirus en murciélagos es muy considerable.

Las alteraciones medioambientales y la invasión de ecosistemas silvestres favorecen el contacto de los murciélagos con animales domésticos, como el cerdo, y con el hombre y facilitan su transmisión interespecífica.

Los coronavirus humanos

Hasta ahora, hay descritos siete coronavirus humanos: dos *Alphacoronavirus* que causan resfriados, el 229E y el NL63, y cinco representantes de *Betacoronavirus*, siendo dos de ellos los virus de resfriados OC43 y HKU1. Los otros tres representantes son coronavirus muy patógenos recientemente descritos y que han originado epidemias graves: SARS-CoV, virus que causa el síndrome respiratorio agudo grave (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus*), el MERS-CoV que causa el síndrome respiratorio de Oriente Medio (*Medium East Respiratory Syndrome*) y el SARS-CoV-2, el virus de la pandemia actual que causa un Síndrome Respiratorio Agudo Grave-2, conocida como COVID-19 (*coronavirus disease-19*) (Petrosillo *et al.*, 2020).

En 1965 se descubrió el primer coronavirus humano, el 229E, y poco después el OC43, siendo en ambos casos causantes de resfriados, por lo que al tratarse de enfermedades leves la comunidad médica no se molestó en investigar los coronavirus.

Ahí quedó la cosa en medicina humana hasta que apareció en China el virus del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV) en noviembre de 2002 (Knobler *et al.*, 2004; Hilgenfeld y Peiris, 2013). En 2003 un portador asintomático lo llevó a Hong Kong y desde allí se extendió causando una epidemia que

afectó a 8.096 personas en 29 países, con 774 muertos, una letalidad próxima al 10 %. Este virus tenía un número básico de reproducción (R_0) bajo y, afortunadamente se controló la infección ya que los pacientes mostraban sintomatología en el momento en el que la transmisibilidad estaba en su apogeo, por lo que su control resultaba bastante efectivo. Desde 2004 no se han descrito más casos, pero la elevada mortalidad del virus conocido ahora como SARS-CoV-1, cambió por completo la percepción de los coronavirus en medicina humana.

Cuando emergió el SARS no se sabía aún que los murciélagos pudieran ser reservorios de coronavirus, pero ya empezaron los indicios a partir de dos representantes de la familia *Paramyxoviridae*; en 1994 emergió en Australia el virus Hendra, afectando y causando muertes en caballos y humanos, aislándose poco después en murciélagos frugívoros. Algo más tarde, en 1999, emergió en Malasia el virus Nipah, que causó una enfermedad relativamente leve en cerdos, pero que causó la muerte a 105 personas en un primer brote; este virus fue también aislado inmediatamente de murciélagos (Wang *et al.*, 2015).

En 2003 se aisló el virus del SARS en civetas de las palmeras (*Paguma larvata*) en mercados chinos de animales vivos, apuntando a que la enfermedad era una zoonosis que provenía de animales (Wang *et al.*, 2006; Ye *et al.*, 2020). Poco después se encontró un virus muy similar al humano en heces de murciélagos de herradura chinos (*Rhinolophus sinicus*). El origen del virus eran los murciélagos y las civetas fueron las hospedadoras que lo amplificaron y lo acercaron al hombre.

En 2003 se descubrió otro coronavirus del resfriado en los Países Bajos, el HCoV-NL63, también del género *Alphacoronavirus*, y en 2005 otro nuevo en Hong Kong, el HCoV-HKU1, del género *Betacoronavirus*. Los cuatro virus del resfriado son muy comunes, todos hemos tenido un resfriado y estamos más o menos inmunizados contra alguno o varios de ellos.

En 2012 emergió otro coronavirus zoonótico aún más virulento, el del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS). Se aisló de un paciente que murió en Jeddah (Arabia Saudí) y se clasificó como un *Betacoronavirus* similar al SARS-CoV, pero genéticamente más próximo a dos coronavirus de murciélagos, el de *Pipistrellus* HKU5 (BtCoV-HKU5) y el de *Tylosycteris* (BtCoV-HKU4) (Singh, 2014; Gao *et al.*, 2016; Scheld *et al.*, 2016).

El 14 de septiembre de 2012 la Agencia de Protección de la Salud del Reino Unido recibió la notificación de un caso de enfermedad respiratoria muy grave en un paciente ingresado en Londres en una UCI que había sido trasladado desde Qatar y que había viajado antes a Arabia Saudí. Padeció una enfermedad respiratoria leve y no diagnosticada en agosto mientras visitaba Arabia y el 3 de septiem-

bre empeoró y fue ingresado en un hospital de Qatar, donde a pesar de diversos tratamientos siguió empeorando hasta que decidieron trasladarlo a Londres. El virus del MERS había viajado rápidamente ya al Reino Unido.

En septiembre de 2013 había ya 108 casos confirmados de MERS, 50 de ellos mortales. Se habían descrito infecciones locales en Jordania, Arabia Saudí, Qatar y Emiratos Árabes Unidos y casos secundarios, a veces con transmisión local en el Reino Unido, Francia, Alemania, Italia y Túnez.

A finales de enero de 2020, la OMS registraba 2.519 casos de MERS en 27 países con 866 muertes (34,3 %), una enfermedad muy grave. La mayor parte de los casos se han diagnosticado en Arabia Saudí: 2.121 casos con 788 muertes.

Los estudios epidemiológicos determinaron que la fuente principal de contagio del virus de MERS son los camellos y que la transmisión es respiratoria (Ohd et al., 2016). Hay también contagio entre personas, principalmente en ambientes hospitalarios.

Se determinó también que el origen inicial del virus son los murciélagos que contaminan con sus heces u orina el agua o el pienso de los camellos. Cerca de La Meca se aisló el virus en murciélagos de tumba egipcios (*Taphozous perforatus*) capturados cerca del domicilio de un enfermo poco después del primer caso humano (Shehata et al., 2016).

Después se hizo un estudio que abarcó, entre otras, muestras de heces de cuatro especies de murciélagos *Pipistrellus* capturados en cuatro países europeos (Annan et al., 2013). Se detectaron *Betacoronavirus* en 40 (14,7 %) de los 272 *Pipistrellus* de distintas especies capturados en Holanda, Ucrania y Rumanía. La carga vírica que se detectó en las heces fue en algunas ocasiones muy elevada. El genoma de uno de los virus de murciélagos europeos, el VM314, solo se diferenciaba en un 1,8 % del MERS-CoV.

Por tanto, murciélagos muy comunes en Europa y muy próximos al hombre están infectados con coronavirus similares al virus del MERS, algo que debe ser tenido en consideración en la vigilancia de las zoonosis por coronavirus.

Es interesante resaltar el foco de MERS que hubo en Corea del Sur, y cuya experiencia sirvió a este país para enfrentarse a la pandemia actual (Cho et al., 2016). El 20 de mayo de 2015 se confirmó un primer caso en un coreano que tenía negocios en la Península Arábiga y que había viajado allí. Volvió a Corea del Sur el 4 de mayo sin síntomas, el 11 de mayo empezó con fiebre y se le diagnosticó de MERS el 20 de mayo. De inmediato, todos los que habían tenido contacto con él desde que empezó con fiebre, 742 personas, fueron sometidos a vigilancia. El día 20 de mayo ya habían sido diagnosticados 28 infectados: personal sanitario, otros pacientes y 13 personas más entre celadores, visitantes y personal de segu-

ridad de los hospitales.

Tres de los infectados por el paciente inicial fueron lo que epidemiológicamente se conoce como “superdifusores”, porque cada uno de ellos infectó a otras 5 personas. El virus alcanzó a numeroso personal de los hospitales en los que había estado el paciente, pero también se diseminó mucho, hasta afectar a otros 17 hospitales debido al movimiento de pacientes y de personal sanitario entre ellos.

A finales de julio había 186 casos confirmados, la mayoría de ellos contagiados en hospitales, con 38 muertes (19,4 %) y aún quedaban 12 pacientes en tratamiento. Se sometieron a cuarentena más de 16.600 personas y se cerraron temporalmente cientos de colegios. El brote tuvo repercusiones económicas importantes, porque hubo descensos notables del comercio y se cancelaron más de 100.000 viajes turísticos y, para paliarlas, el Banco Central de Corea del Sur rebajó los tipos de interés en 0,25 puntos.

De nuevo una sola persona infectada había transportado un coronavirus zoonótico que se transmite por vía respiratoria a miles de kilómetros. ¿Les suena esto?

Las conclusiones que sacaron las autoridades de Corea fueron: a) es necesario un mayor conocimiento epidemiológico sobre la forma de transmisión del virus; b) hay que mejorar las técnicas de rastreo epidemiológico utilizando cámaras de circuitos cerrados de televisión y sistemas de GPS; c) hay que identificar muy rápidamente a las personas en contacto con un caso; d) hay que aprender de la experiencia de cuarentena de los contactos; e) se deben reconsiderar los sistemas de detección de brotes de enfermedades contagiosas tanto a nivel del gobierno central, como de los gobiernos locales y del público; f) se debe revisar la forma de gestionar las enfermedades infecciosas en los hospitales, lo que implica controlar las visitas a los pacientes y el ambiente en las instalaciones de emergencia

Estos conocimientos los han aplicado con todo rigor las autoridades de Corea del Sur en la pandemia actual, y de ahí el éxito que han tenido.

Después, se encontraron anticuerpos contra el MERS-CoV en camellos de muchos países, incluyendo las Islas Canarias (Gutiérrez *et al.*, 2015), y se aislaron (y se aíslan) virus muy similares en numerosas especies de murciélagos y en zonas tan alejadas como Europa y Sudáfrica, donde se aisló un virus cuya secuencia solo se diferenciaba de la de MERS-CoV en un 0,3 % de un murciélago insectívoro de la especie *Neoromicia zuluensis* (Geldenhuys *et al.*, 2018).

Los datos actuales indican que los virus antecesores del MERS podrían haber estado en murciélagos insectívoros del Viejo Mundo (Europa, Asia y África).

ca) de la familia Vespertilionidae, a la que pertenecen los géneros *Pipistrellus* y *Neomicia*, desde hace cientos de años.

La pandemia actual por SARS-CoV-2 no es, por tanto, un fenómeno raro. Un informe muy reciente (29/10/2020) de la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas dice que estudios científicos señalan que puede haber hasta 850.000 virus animales con capacidad de infectar al hombre

El informe resalta que las mismas transformaciones ambientales que impulsan la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, principalmente la deforestación, la expansión e intensificación agroganadera y el comercio y consumo de animales silvestres pueden hacer que las pandemias o grandes epidemias sean cada vez más frecuentes, como ha sucedido en los últimos años.

Hay un amplio consenso en que el SARS-CoV-2 actual tiene su origen en murciélagos y, aunque aún no está totalmente aclarado, todo apunta que el animal que acercó el virus original de los murciélagos al hombre es el pangolín (*Manis javanica*), muy apreciado, aunque prohibido en la cocina oriental (Liu *et al.*, 2020; Lam *et al.*, 2020).

Bibliografía

- Annan, A., Baldwin, H.J., Corman, V.M., Klose, S.M., Owusu, M., Nkrumah, E.E., Badu, E.K., Anti, P., Agbenyega, O., Meyer, *et al.* 2013. Human betacoronavirus 2c EMC/2012-related viruses in bats, Ghana and Europe. *Emerging Infectious Diseases*, 19:456-459
- Boniotti, M.B., Papetti, A., Lavazza, A., Alborali, G., Sozzi, E., Chiapponi, C., Faccini, S., Bonilauri, P., Cordioli, P., y Marthaler, D. 2016. Porcine epidemic diarrhea virus and discovery of a recombinant swine enteric coronavirus, Italy. *Emerging Infectious Diseases*, 22:83–87
- Carvajal A., Argüello H., Martínez-Lobo F. J., Costillas, S., Miranda, R., de Nova, P.J.G. y Rubio, P., 2015. Porcine epidemic diarrhoea: new insights into an old disease. *Porcine Health Management*, 1:12
- Cho, S.Y., Kang, J.M., Ha, Y.E., Park, Lee J.Y, Ko, J.H., Lee, J.Y., Kim, J.M, Kang, C.I., Jo, I.J., Ryu, et al. 2016. MERS-CoV outbreak following a single patient exposure in an emergency room in South Korea: an epidemiological outbreak study. *Lancet*, 388:994-1001
- Cui, J. Li, F. y Shi, Z.L., 2019. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology*, 17:181–192
- de Nova, P.J.G., Cortey, M., Díaz, I., Puente, H. Rubio, P., Martín, M. y Carvajal, A. 2020. A retrospective study of porcine epidemic diarrhoea virus (PEDV) reveals the presence of swine enteric coronavirus (SeCoV) since 1993 and the recent



- introduction of a recombinant PEDV-SeCoV in Spain. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67:2911-2922
- Fabricant, J., 1998. The early history of infectious bronchitis. *Avian Diseases*, 42:648-650
- Gao, H., Yao, H., Yang, S., Li, L. 2016. From SARS to MERS: evidence and speculation. *Frontiers in Medicine*, 10:377-382
- Geldenhuis, M., Mortlock, M., Weyer, J., Bezuidt, O. Seemark, E.C.J., Kearney, T., Gleasner, C., Erkkila, T.H., Cui, H. y Markotter, W. 2018. A metagenomic viral discovery approach identifies potential zoonotic and novel mammalian viruses in *Neoromicia* bats within South Africa. *PLoS One*, 13:e0194527
- Gutiérrez, C., Tejedor-Junco, M.T., González, M., Lattwein, E. y Renneker, E. 2015. Presence of antibodies but no evidence for circulation of MERS-CoV in dromedaries on the Canary Islands. *EuroSurveillance*, 20(37)
- Hilgenfeld, R., Peiris, M., 2013. From SARS to MERS: 10 years of research on highly pathogenic human coronaviruses. *Antiviral Research*, 100:286-295
- Huang, Y.W., Dickerman, A.W., Piñeyro, P., Li, L. Fang, L., Kiehne, R., Opriessnig, T. y Meng X.J. 2013. Origin, evolution, and genotyping of emergent porcine epidemic diarrhea virus strains in the United States. *MBio*, 4:e00737-13
- Jordan, B., 2017. Vaccination against infectious bronchitis virus: a continuous challenge. *Veterinary Microbiology*, 206:137-143
- Knobler, S., Mahmoud A., Lemon, S., Mack, A., Sivitz, L. y Oberholtzer K. (Eds.) 2004. Forum on Microbial Threats. Learning from SARS: Preparing for the Next Disease Outbreak - Workshop Summary. National Academies Press. Washington DC, USA. ISBN: 0-309-59433-2
- Lam, T.T., Jia, N., Zhang, Y.W., Shum, M.H...y Cao W.C. 2020. Identifying SARSCoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 583:282-285
- Laude, H., Rasschaert, D., Delmas, B., Godet, M., Gelfi, J. y Charley, B. 1990. Molecular biology of transmissible gastroenteritis virus. *Veterinary Microbiology*, 23:147-54
- Laude, H., Van Reeth, K., Pensaert, M., 1993. Porcine respiratory coronavirus: molecular features and virus-host interactions. *Veterinary Research*, 24:125-50
- Li, G., Chen, Q., Harmon, K.M., Yoon, Schwartz, K.J., Hoogland, M.J., Gauger, P.C., Main, R.G. y Zhang, J. 2014. Full-Length genome sequence of porcine Deltacoronavirus strain USA/IA/2014/8734. *Genome Announcements*, 2:e00278-14
- Liu, P., Jiang, J.Z., Wan, X.F., Hua, Y., Li, L., Zhou, J., Wang, X., Hou, F., Chen, J., Zou, J., y Chen, J. 2020. Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)? *PLoS Pathogens*, 16:e1008421
- Marthaler, D., Jiang, Y., Collins, J., Rossow, K., 2014. Complete Genome Sequence of



- Strain SDCV/USA/Illinois121/2014, a Porcine Deltacoronavirus from the United States. *Genome Announcements*, 2:e00218-14
- Ohd, H.A., Al-Tawfiq, J.A., Memish, Z.A., 2016. Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) origin and animal reservoir. *Virology Journal*, 13:87
- Pedersen, N.C., Boyle, J.F., Floyd, K., 1981. Infection studies in kittens, using feline infectious peritonitis virus propagated in cell culture. *American Journal of Veterinary Research*, 42:363-367
- Petrosillo, N., Viceconte, G., Ergonul, O., Ippolito, G. y Petersen, E. 2020. COVID-19, SARS and MERS: are they closely related? *Clinical Microbiology and Infection*, 26:729-734
- Scheld, W. M., Hughes, J. M. y Whitley, R.J (Eds.). 2016. *Emerging Infections 10*. ASM Press, Washington DC., USA. ISBN 9781555819453 (eBook)
- Shehata, M.M., Chu, D.K., Gomaa, M.R., AbiSaid, M. El Shesheny, R., Kandeil, A., Bagato, O., Chan, S.M.S., Barbour, E.K., Shaib, H.S., *et al.* 2016. Surveillance for Coronaviruses in Bats, Lebanon and Egypt, 2013-2015. *Emerging Infectious Diseases*, 22:148–150
- Singh, S. K. (ed.), 2014. *Viral infections and global change*. Wiley Blackwell, Hoboken, New Jersey, USA. ISBN: 978-1-118-29787-2
- Subudhi S, Rapin N, Misra V., 2019. Immune system modulation and viral persistence in bats: Understanding viral spillover. *Viruses*, 11:192
- Wang, Y.W., Yue, H., Fang, W., Huang, Y.W., 2015. Complete genome sequence of porcine Deltacoronavirus strain CH/Sichuan/S27/2012 from Mainland China. *Genome Announcements*, 3:e00945-15
- Wang, L.F., Shi, Z., Zhang, S., Field, H., Daszak, P. y Eaton, B.T. 2006. Review of bats and SARS. *Emerging Infectious Diseases*, 12:1834–1840
- Ye, Z.W., Yuan, S., Yuen, K.S., Fung, S.Y., Chan, C.P. y Jin, D.Y. 2020. Zoonotic origins of human coronaviruses. *International Journal of Biological Sciences*, 16:1686–1697
- Zhou, P., Fan, H., Lan, T., Yang, X.L...y Ma, J.Y. 2018. Fatal swine acute diarrhoea syndrome caused by an HKU2-related coronavirus of bat origin. *Nature*, 556:255–258

PONIENDO EN CLARO

Modelos animales de carcinoma hepatocelular y sus aplicaciones en biomedicina

Irati López de la Pisa (ilopedo2@unileon.es)

Resumen

El carcinoma hepatocelular (CHC) es la segunda causa de muerte por cáncer en todo el mundo y el subtipo histológico más común cáncer primario de hígado. Teniendo este escenario en consideración, los modelos animales de CHC son esenciales para entender la enfermedad a nivel molecular, para el desarrollo de nuevas vías de tratamiento y para la realización de ensayos preclínicos. La presente revisión se centra en las características de los modelos animales químicamente inducidos, de implantación y de los modelos animales de enfermedad de hígado graso no alcohólico/esteatohepatitis no alcohólica (NAFLD/NASH). Además, dado que los métodos de detección identifican el CHC en etapas tardías, su naturaleza asintomática en etapas tempranas y su refractariedad a casi todas las terapias actuales, las nuevas líneas de investigación junto con las nuevas y actuales vías de tratamiento también se discuten en esta revisión.

Palabras clave: antioxidantes, carcinoma hepatocelular, inhibidores de quinasas, metabolómica, modelos animales, terapéutica.

Introducción

El carcinoma hepatocelular (CHC) es la segunda causa más común de muerte por cáncer en todo el mundo (García *et al.*, 2018) y, con mucho, el subtipo histológico más común del cáncer primario de hígado (Santos *et al.*, 2017). Se desarrolla en el 80% de los casos, en un hígado con lesión crónica (Caviglia y Schwabe, 2015) y presenta dos grupos principales de factores de riesgo: virales (infecciones por el virus de la hepatitis B y el virus de la hepatitis C) y no virales (obesidad, síndrome metabólico (SM), enfermedad del hígado graso no alcohólico (NAFLD), exposición ambiental a aflatoxinas y consumo excesivo de alcohol, etc.) (Shankaraiah *et al.*, 2019).

Modelos animales de carcinoma hepatocelular

Actualmente, se emplea una gran variedad de modelos murinos de CHC para estudios preclínicos que incluyen modelos inducidos químicamente, transgénicos y de xenoinjerto (Rao *et al.*, 2016) (**Tabla 1**).

Forma de mencionar este artículo: López de la Pisa, I. 2020, Modelos animales de carcinoma hepatocelular y sus aplicaciones en biomedicina. AmbioCiencias, 18, 19-30. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Modelos químicamente inducidos

Existen dos tipos de compuestos cancerígenos: compuestos genotóxicos que inducen cambios estructurales en el ADN y compuestos promotores mejoran la formación de tumores (Santos *et al.*, 2017).

1. Dietinitrosamina (DEN)

La DEN produce la alquilación de estructuras del ADN y la inducción de especies reactivas de oxígeno en los hepatocitos (Zhang *et al.*, 2019) pero no abarca ni inflamación ni fibrosis (Caviglia y Schwabe, 2015). Se administra mediante una sola inyección intraperitoneal (Henderson *et al.*, 2017) y lleva al menos un año manifestar y representar el CHC humano de manera relativamente efectiva (Zhang *et al.*, 2019).

2. Fenobarbital (PB)

El PB es un fármaco antiepiléptico que causa tumores en el hígado de roedores después de la administración crónica (Zhang *et al.*, 2019) y cuyos mecanismos en el desarrollo del CHC no se comprenden completamente (Santos *et al.*, 2017).

3. Tetracloruro de carbono (CCL₄)

El CCL₄ produce la liberación del radical peróxido de triclorometil que altera la integridad de las membranas celulares (Santos *et al.*, 2017) y, en consecuencia, conduce a ciclos repetidos de lesión, inflamación y reparación que derivan en fibrosis y eventualmente en CHC (De Minicis *et al.*, 2013). Se administra a través de una inyección intraperitoneal (Henderson *et al.*, 2017), en gases inhalados o en agua potable junto a compuestos como PB (Newell *et al.*, 2008).

4. 2-acetilaminofluoreno (2-AAF)

El 2-AAF es empleado principalmente como control positivo en estudios de carcinogenicidad y mutagenicidad. Es transformado en N-hidroxi-AAF cuya activación conduce a la formación de formas reactivas que causan toxicidad, muerte celular y carcinogénesis (Santos *et al.*, 2017).

5. Tioacetamida (TAA)

La TAA es un modelo bien establecido de fibrosis hepática en roedores, sin embargo, sus mecanismos moleculares todavía no se comprenden completamente (Henderson *et al.*, 2017). Puede ser administrado mediante agua potable o inyecciones intraperitoneales que conducen a necrosis centrilobular hepática y fibrosis hepática (Zhang *et al.*, 2019).

6. Aflatoxinas

La aflatoxina B1 es el componente principal de las mezclas de aflatoxinas (Mazzanti *et al.*, 2008), micotoxinas producidas por el hongo *Aspergillus* spp. (De Minicis *et al.*, 2013) que es metabolizada en AFB₁-exo-8,9-epóxido el cual se une al ADN formando aductos con residuos de guanina y con la albúmina del suero sanguíneo. El desarrollo de CHC se logra con una tasa de éxito de casi el 100% (McGlynn *et al.*, 2003).

Modelos de implantación

Los modelos de implantación pueden dividirse en dos tipos: modelos ectópicos y modelos ortotópicos, en función del lugar de implantación de los injertos, y modelos de aloinjerto y xenoinjerto, en función de la relación entre el injerto y el hospedador (He *et al.*, 2015) (**Tabla 1**).

1. Modelos de xenoinjerto

Los modelos de xenoinjerto se inducen mediante la inyección de células cancerosas humanas en ratones inmunodeficientes (Heindryckx *et al.*, 2009) y presentan un crecimiento tumoral rápido (De Minicis *et al.*, 2013).

Los principales modelos de xenoinjerto son, por un lado, los modelos ectópicos que se caracterizan por la implantación subcutánea de células CHC humanas o fragmentos de tejido tumoral en ratones inmunodeficientes (He *et al.*, 2015). Por otro lado, se encuentran los modelos ortotópicos que se basan en un microambiente inmunosupresor murino (Jung, 2014) y presentan cuatro enfoques, siendo el enfoque de implantación intrahepática el más relevante clínicamente ya que presenta patologías típicas y un patrón de metástasis similar al que se manifiesta clínicamente en pacientes con CHC (Rao *et al.*, 2016).

Por último, se encuentra el ensayo de fibra hueca (HFA). Este método se basa en la colocación de líneas celulares tumorales en fibras de fluoruro de polivinilideno que permite determinar la eficacia del fármaco (Santos *et al.*, 2017) y probar múltiples líneas celulares en un mismo ratón (Heindryckx *et al.*, 2009).

2. Modelos de aloinjerto

Los modelos de aloinjerto se establecen mediante la implantación de líneas celulares de CHC murinas o fragmentos de tumores murinos en ratones inmunocompetentes (no necesariamente singénicos) (He *et al.*, 2015).

Tabla 1. Resumen de los principales modelos químicamente inducidos y de implantación.

Modelos animales		Tiempo de desarrollo tumoral	Ventajas	Desventajas	Referencias
Químicos	DEN	45-104 semanas (dependiendo de la dosis)	Fácilmente combinable con métodos que promueven enfermedades hepáticas	El tiempo de desarrollo del CHC no depende únicamente de la dosis, sino que también depende de la cepa, sexo y edad	Zhang <i>et al.</i> , 2019
	Administración única	40-60 semanas			Santos <i>et al.</i> , 2017
	Administración a corto plazo	20-35 semanas			Brown <i>et al.</i> , 2018
	Administración a largo plazo	20-40 semanas			Heindryckx <i>et al.</i> , 2009
	+ PB + HP	4-8 semanas (en ratas)			
	CCl ₄	104 semanas	Induce fibrosis mediante radicales libres	El grado de susceptibilidad varía entre especies, cepas y programas de administración	Zhang <i>et al.</i> , 2019 Santos <i>et al.</i> , 2017
	2-AAF	22 semanas	Agente promotor en modelos de hepatocarcinogénesis	-	Santos <i>et al.</i> , 2017
	TAA	50-80 semanas	Modelo bien establecido de fibrosis hepática	Compresión incompleta de sus mecanismos de acción	Zhang <i>et al.</i> , 2019 Henderson <i>et al.</i> , 2016
	Aflatoxinas	CHC temprano 52 semanas	Útil para evaluar los mecanismos involucrados en la hepatocarcinogénesis inducida por AFB	Se limita a los casos específicos en los que los mecanismos del CHC inducido por AFB tienen que ser aclarados	Santos <i>et al.</i> , 2017
CHC avanzado 92-110 semanas		De Minicis <i>et al.</i> , 2013			
		McGlynn <i>et al.</i> , 2013			
					Heindryckx <i>et al.</i> , 2009

Tabla 1. (continuación).

Modelos animales		Tiempo de desarrollo tumoral	Ventajas	Desventajas	Referencias
Implantación	Ectópicos	5–20 semanas	Crecimiento tumoral rápido, fácil de realizar, altamente reproducible, bajo coste y baja mortalidad por procedimientos	Sin interacción directa con tejido hepático Las interacciones tumor-hospedador no se pueden evaluar Diferencias considerables entre líneas celulares, se necesitan probar múltiples líneas celulares Débilmente extrapolables a los humanos	Santos <i>et al.</i> , 2017 He <i>et al.</i> , 2015 Heindryckx <i>et al.</i> , 2009
	Ortotópicos	± 2 semanas	Rápido crecimiento tumoral y desarrollo de metástasis Proporciona un modelo realista de la ubicación del tumor, daño hepático, variaciones bioquímicas y heterogeneidad de las células tumorales Permite la interacción tumor-hospedador, entre células tumorales y microambiente circundante. Permite la expresión de genes específicos y proteínas	Técnicamente complejo y relativamente caro Ratones inmunocomprometidos que pueden proporcionar un microambiente tumoral menos realista Diferencias considerables entre líneas celulares, se necesitan probar múltiples líneas celulares.	Santos <i>et al.</i> , 2017 He <i>et al.</i> , 2015 Heindryckx <i>et al.</i> , 2009 Bagi y Andersen, 2010 Jung, 2014 García <i>et al.</i> , 2018
	HFA	1-2 semanas	Efectos mínimos sobre el bienestar animal Reducción del número de ratones necesarios Recuperación de células tumorales no contaminadas por células hospedadoras Tiempo de evaluación más corto	No hay interacción directa con el tejido hepático Técnicamente complejo y costoso No es adecuado para estudiar interacciones complejas huésped-tumor La aparición de neovascularización alrededor de las fibras puede afectar a los resultados a largo plazo. No es posible evaluar datos sobre el tamaño del tumor	Santos <i>et al.</i> , 2017 Heindryckx <i>et al.</i> , 2009 Shnyder <i>et al.</i> , 2006
	Aloinjerto	-	Se requiere cuando se prueban medicamentos contra el cáncer que activan el sistema inmunitario (inmunoterapia)	La eficacia de los medicamentos contra el CHC humano estudiado es imprevista	Santos <i>et al.</i> , 2017

Modelos NAFLD/NASH-CHC

La NAFLD junto con su variante progresiva, la esteatohepatitis no alcohólica (NASH) son manifestaciones hepáticas del SM que pueden conducir a cirrosis y CHC (Tsuneyama *et al.*, 2017) (**Tabla 2**).

1. Ratones TSOD

Los tumores guanina sintetasa-positivos en ratones TSOD poseen características similares a las del CHC bien diferenciado en humanos, sin embargo, la secuencia de NAFLD/NASH a CHC no progresa a través de la cirrosis (Takahasi *et al.*, 2016).

2. Ratones GMS

Los ratones GMS son inducidos por la administración de glutamato monosódico y presentan características patológicas y un proceso de progresión de la enfermedad similares a los pacientes con NASH basados en el SM (Tsuneyama *et al.*, 2017).

3. Ratones DIAR-NSTZ

Es un modelo de cepa endogámica sin diabetes con estreptozotocina (STZ), toxina de las células β pancreáticas, que presenta un desarrollo muy rápido de CHC con una tasa de éxito del 100%. El proceso es muy similar a la progresión de CHC en humanos, sin embargo, no se observa fibrosis hepática ni tampoco explica el desarrollo "estable" de CHC que exhiben (Baba *et al.*, 2014).

4. Ratones STAM

Este modelo se realiza mediante la administración de una única inyección subcutánea de STZ y una dieta alta en grasas. Recapitula efectivamente la progresión de NASH a CHC humana (Shankaraiah *et al.*, 2019), sin embargo, no presenta resistencia a la insulina ni obesidad (Wu, 2016).

5. Dieta deficiente en metionina y colina (MCD)

Representa uno de los mejores modelos para el estudio de los elementos inflamatorios y fibróticos del espectro NAFLD/NASH gracias a su fácil establecimiento y disponibilidad (Jacobs *et al.*, 2016). Se basa en la deficiencia en metionina y colina que deriva en lesión hepática y potencia la transformación maligna (Zhong *et al.*, 2019; Wu, 2016).



6. Dieta alta en grasas (HFD)

El modelo HFD muestra características similares a NASH en humanos, pero el daño hepático no es grave (Zhong *et al.*, 2019).

7. Dieta deficiente en colina (CDD)

La CDD produce daño oxidativo del ADN e inestabilidad cromosómica a causa del agotamiento de los mecanismos antioxidantes del hígado (de Lima *et al.*, 2008).

8. Dieta definida por L-aminoácidos y deficiencia en colina (CDAA)

La CDAA desarrolla una lesión hepática que imita las características de NASH y conduce a CHC (Lau *et al.*, 2017). Sin embargo, el modelo es opuesto a la NASH humana típica (Zhong *et al.*, 2019).

9. Dieta occidental (WD)

La WD induce la histología de NASH, pero no progresa completamente a esteatohepatitis severa y fibrosis avanzada (Asgharpour *et al.*, 2016). Sin embargo, la combinación con CCl₄ desarrolla características histopatológicas de NASH con progresión rápida de fibrosis extensa y CHC (Tsuchida *et al.*, 2018).

Tabla 2: Resumen de las características de los modelos de NAFLD/NASH – CHC.

Modelos	Obesidad	Diabetes	Esteatosis	NASH	Fibrosis	Tumor hepático	Referencias
Ratones TSOD	+	+	+	+	+/-	+	Tsuneyama <i>et al.</i> , 2017 Lau <i>et al.</i> , 2017
Ratones DIAR-nSTZ	-	+	-	-	-	-	
Ratones STAM	+	+	+	+	+	+	
Ratones GMS	+	+	+	+	+/-	+	
MCD	+	+	+	+	+/-	-	Lau <i>et al.</i> , 2017
CCD	+	-	+	+	+	+	
HFD	+	+	+	+	+	-	Takahasi <i>et al.</i> , 2012 Henderson <i>et al.</i> , 2017 Lau <i>et al.</i> , 2017
CDAA	+	-	+	+	+	+	Lau <i>et al.</i> , 2017
WS	+	+	+	+/-	-	-	Tsuchida <i>et al.</i> , 2018

Aplicaciones biomédicas de los modelos animales de CHC

Avances en la terapéutica

Los modelos animales de CHC también se emplean en la evaluación de la eficacia de diferentes líneas de tratamiento (**Fig. 1**) como, por ejemplo, los tratamientos sistémicos como sorafenib (Henderson *et al.*, 2017), regorafenib y lenvatinib, que han demostrado alterar significativamente la viabilidad de las líneas celulares Huh7 y HepG2 (Sasaki *et al.*, 2020).

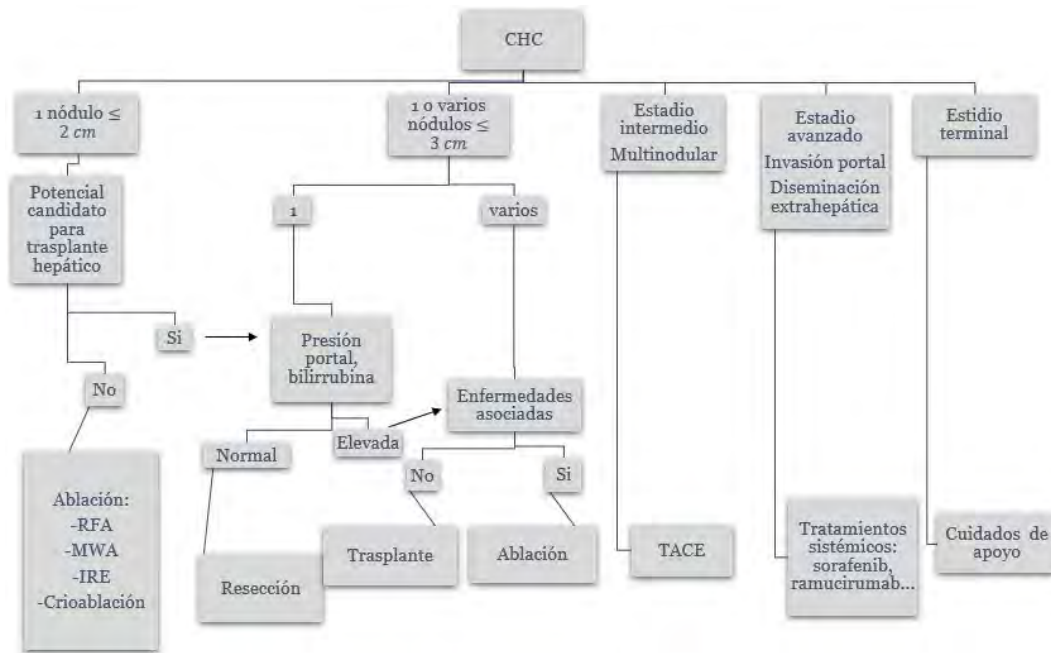


Figura 1. Diagrama de flujo de los actuales tratamientos del CHC.

Recientemente, se ha probado un tratamiento con nanopartículas de óxido de cerio (CeO_2NP) en ratas con CHC inducido por DEN que ha demostrado un aumento de la relación hígado/peso corporal, entre otros (Fernández-Varo *et al.*, 2020).

Actualmente, existe un interés creciente en el estudio de polifenoles debido a la resistencia del CHC a los medicamentos quimioterapéuticos actuales (García *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2018). En líneas celulares de CHC HepG2, HepB3 y PLC/PRF/5 la galangina ha demostrado suprimir el crecimiento, la proliferación y la viabilidad (Fang *et al.*, 2019). Por otro lado, en las células tumorales LM3, SMMC-7721 y HepG2 el tratamiento con quercetina ha demostrado promover la autofagia y revertir el daño generado por compuestos como AFB1 (Fernández-Palanca *et al.*, 2019). Asimismo, la curcumina ha demostrado inhibir la expresión inducida por DEN de HRAS oncogénico y hepatocarcinogénesis (Shankaraiah *et al.*, 2019) al igual que la melatonina que ha demostrado efectos antiproliferativos en las líneas celulares HepG2 y Hep3B (Mi y Kuang, 2020).

Nuevas líneas de investigación

El diagnóstico del CHC depende principalmente de la biopsia invasiva, de pruebas de α -fetoproteína (Stefaniuk *et al.*, 2010) cuya sensibilidad y especificidad es subóptima (Beyoğlu y Idle, 2020) y de los métodos de imagen que detectan el CHC en etapas medias y tardías debido a su naturaleza asintomática. Por ello, se requiere de mejores biomarcadores que mejoren el diagnóstico y tratamiento (Guo *et al.*, 2018).

La metabolómica proporciona biomarcadores potenciales para el diagnóstico y monitorización de enfermedades complejas (Guo *et al.*, 2018), patogénesis y tratamientos personalizados (Gong *et al.*, 2017). Ejemplo de ello son los niveles elevados de isoleucina, leucina y fenilalanina y niveles disminuidos de glucosa observados en las células HepG2 en comparación con hepatocitos normales y la eliminación de la espermina oxidasa (SMOX) en las líneas celulares Hep3B y SK-HEP-1 que ha demostrado suprimir la proliferación y aumentar la apoptosis (Hu *et al.*, 2018).

Conclusiones

Dadas las elevadas tasas de incidencia y mortalidad del CHC, y su refractariedad a la mayoría de los tratamientos actuales, los modelos animales de CHC son vitales para comprender los mecanismos de la enfermedad y poder desarrollar un tratamiento efectivo. Los modelos de xenoinjerto son los modelos más empleados en el estudio del CHC junto con los modelos de DEN y CCl₄. Además, dado que el CHC ocurre comúnmente en un contexto de patología crónica hepática, los modelos animales de NAFLD/NASH que reproducen la progresión de la enfermedad hepática crónica a CHC son imprescindibles.

Bibliografía

- Asgharpour, A., Cazanave, S. C., Pacana, T., Seneshaw, M., Vincent, R., Banini, B. A., Kumar, D. P., Daita, K., Min, H. K., Mirshahi, F., *et al.* 2016. A diet-induced animal model of non-alcoholic fatty liver disease and hepatocellular cancer. *Journal of Hepatology*, 65:579-588
- Baba, H., Tsuneyama, K., Nishida, T., Hatta, H., Nakajima, T., Nomoto, K., Hayashi, S., Miwa, S., Nakanishi, Y., Hokao, R. e Imura, J. 2014. Neonatal streptozotocin treatment causes type 1 diabetes and subsequent hepatocellular carcinoma in DIAR mice fed a normal diet. *Hepatology International*, 8:415-424
- Beyoğlu, D. e Idle, J. R. 2020. Metabolomic and lipidomic biomarkers for premalignant liver disease diagnosis and therapy. *Metabolites*, 10:50
- Caviglia J.M. y Schwabe R.F. 2015. Mouse Models of Liver Cancer, en Eferl R. y Casanova E. (eds.) *Mouse Models of Cancer*. New York: Humana Press, pp. 165-183.



- De Minicis, S., Kisseleva, T., Francis, H., Baroni, G. S., Benedetti, A., Brenner, D., Alvaro, D., Alpini, G. y Marzoni, M. 2013. Liver carcinogenesis: rodent models of hepatocarcinoma and cholangiocarcinoma. *Digestive and Liver Disease*, 45:450-459
- Fang, D., Xiong, Z., Xu, J., Yin, J. y Luo, R. 2019. Chemopreventive mechanisms of galangin against hepatocellular carcinoma: a review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 109:2054-2061
- Fernández-Palanca, P., Fondevila, F., Méndez-Blanco, C., Tuñón, M. J., González-Gallego, J. y Mauriz, J. L. 2019. Antitumor effects of quercetin in hepatocarcinoma in vitro and in vivo models: a systematic review. *Nutrients*, 11:2875
- Fernández-Varo, G., Perramón, M., Carvajal, S., Oró, D., Casals, E., Boix, L., Oller, L., Macías-Muñoz, L., Marfá, S., Casals, *et al.* 2020. Bespoke nanoceria: a new effective treatment in experimental hepatocellular carcinoma. *Hepatology*, 72:1267-1282
- García, E. R., Gutierrez, E. A., Melo, F. C. S. A. D., Novaes, R. D. y Gonçalves, R.V. 2018. Flavonoids effects on hepatocellular carcinoma in murine models: a systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 28:6328970
- Gong, Z. G., Zhao, W., Zhang, J., Wu, X., Hu, J., Yin, G. C. y Xu, Y. J. 2017. Metabolomics and eicosanoid analysis identified serum biomarkers for distinguishing hepatocellular carcinoma from hepatitis B virus- related cirrhosis. *Oncotarget*, 8:63890-63900
- Guo, W., Tan, H. Y., Wang, N., Wang, X. y Feng, Y. 2018. Deciphering hepatocellular carcinoma through metabolomics: from biomarker discovery to therapy evaluation. *Cancer Management and Research*, 10:715-734
- He, L., Tian, D. A., Li, P. Y. y He, X. X. 2015. Mouse models of liver cancer: progress and recommendations. *Oncotarget*, 6:23306-23322
- Heindryckx, F., Colle, I. y Van Vlierberghe, H. 2009. Experimental mouse models for hepatocellular carcinoma research. *International Journal of Experimental Pathology*, 90:367-386
- Henderson, J. M., Zhang, H. E., Polak, N. y Gorrell, M. D. 2017. Hepatocellular carcinoma: mouse models and the potential roles of proteases. *Cancer Letters*, 387:106-113
- Hu, T., Sun, D., Zhang, J., Xue, R., Janssen, H. L., Tang, W. y Dong, L. 2018. Spermine oxidase is upregulated and promotes tumor growth in hepatocellular carcinoma. *Hepatology Research*, 48:967-977
- Jacobs, A., Warda, A. S., Verbeek, J., Cassiman, D. y Spincemaille, P. 2016. An overview of mouse models of nonalcoholic steatohepatitis: from past to present. *Current Protocols in Mouse Biology*, 6:185- 200

- Jung, J. 2014. Human tumor xenograft models for preclinical assessment of anticancer drug development. *Toxicological Research*, 30:1-5
- Lau, J. K. C., Zhang, X. y Yu, J. 2017. Animal models of non-alcoholic fatty liver disease: current perspectives and recent advances. *The Journal of Pathology*, 241:36-44
- de Lima, V. M., Oliveira, C. P., Alves, V. A., Chammass, M. C., Oliveira, E. P., Stefano, J. T., de Mello, E. S., Cerri, G. G., Carrilho, F. J. y Caldwell, S. H. 2008. A rodent model of NASH with cirrhosis, oval cell proliferation and hepatocellular carcinoma. *Journal of Hepatology*, 49:1055-1061
- Mazzanti, R., Gramantieri, L. y Bolondi, L. 2008. Hepatocellular carcinoma: epidemiology and clinical aspects. *Molecular Aspects of Medicine*, 29:130-143
- McGlynn, K. A., Hunter, K., LeVoyer, T., Roush, J., Wise, P., Michielli, R. A., Shen, F. M., Evans, A. A., London, W. T. y Buetow, K. H. 2003. Susceptibility to aflatoxin B1-related primary hepatocellular carcinoma in mice and humans. *Cancer Research*, 63:4594-4601
- Newell, P., Villanueva, A., Friedman, S. L., Koike, K. y Llovet, J. M. 2008. Experimental models of hepatocellular carcinoma. *Journal of Hepatology*, 48:858-879
- Rao, Q., You, A., Guo, Z., Zuo, B., Gao, X., Zhang, T., Du, Z., Wu, C. y Yin, H. F. 2016. Intrahepatic tissue implantation represents a favorable approach for establishing orthotopic transplantation hepatocellular carcinoma mouse models. *PLoS ONE*, 11:1-12
- Santos, N. P., Colaço, A. A. y Oliveira, P. A. 2017. Animal models as a tool in hepatocellular carcinoma research: a review. *Tumor Biology*, 39: 1-20
- Sasaki, R., Kanda, T., Fujisawa, M., Matsumoto, N., Masuzaki, R., Ogawa, M., Matsuoka, S., Kuroda, K. y Moriyama, M. 2020. Different mechanisms of action of regorafenib and lenvatinib on toll-like receptor- signaling pathways in human hepatoma cell lines. *International Journal of Molecular Sciences*, 21:3349
- Shankaraiah, R. C., Gramantieri, L., Fornari, F., Sabbioni, S., Callegari, E. y Negrini, M. 2019. Animal models of hepatocellular carcinoma prevention. *Cancers*, 11:1-15
- Stefaniuk, P., Cianciara, J. y Wiercinska-Drapalo, A. 2010. Present and future possibilities for early diagnosis of hepatocellular carcinoma. *World Journal of Gastroenterology*, 16:418-424
- Takahashi, T., Nishida, T., Baba, H., Hatta, H., Imura, J., Sutoh, M., Toyohara, S., Hokao, R., Watanabe, S., Ogawa, *et al.* 2016. Histopathological characteristics of glutamine synthetase-positive hepatic tumor lesions in a mouse model of spontaneous metabolic syndrome (TSOD mouse). *Molecular and Clinical Oncology*, 5:267-270
- Tsuchida, T., Lee, Y. A., Fujiwara, N., Ybanez, M., Allen, B., Martins, S., Fiel, M. I., Goossens, N., Chou, H. I., Hoshida, Y. y Friedman, S. L. 2018. A simple diet-and chemical-induced murine NASH model with rapid progression of steatohepatitis, fibrosis and liver cancer. *Journal of Hepatology*, 69:385-395



- Tsuneyama, K., Nishitsuji, K., Matsumoto, M., Kobayashi, T., Morimoto, Y., Tsunematsu, T. y Ogawa, H. 2017. Animal models for analyzing metabolic syndrome-associated liver diseases. *Pathology International*, 67:539-546
- Wu, J. 2016. Utilization of animal models to investigate nonalcoholic steatohepatitis-associated hepatocellular carcinoma. *Oncotarget*, 7:42762-42776
- Zhang, H. E., Henderson, J. M. y Gorrell, M. D. 2019. Animal models for hepatocellular carcinoma. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Molecular Basis of Disease*, 1865:993-1002
- Zhong, F., Zhou, X., Xu, J. y Gao, L. 2020. Rodent models of nonalcoholic fatty liver disease. *Digestion*, 101:522-535

Papel de la microbiota intestinal en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer

Irene Fernández Martín (ifernm02@estudiantes.unileon.es)

Resumen

La enfermedad de Alzheimer (EA) es una enfermedad de carácter neurodegenerativo y la principal causa de demencia en el mundo. Cada vez más hipótesis apuntan a que es una enfermedad de origen intestinal: su patogénesis se ha relacionado con el eje microbiota-intestino-cerebro, y se especula que el desequilibrio intestinal puede estar vinculado con el desarrollo de la EA. La disbiosis hace que ciertos productos microbianos (amiloides, lipopolisacáridos y neurotransmisores) puedan atravesar la barrera intestinal y la hematoencefálica (BHE) y llegar al sistema nervioso central (SNC) aumentando el riesgo de padecer EA. En definitiva, la salud del SNC depende en gran medida de la salud de la microbiota intestinal y por ello los posibles tratamientos que se investigan para la EA se centran principalmente en la modulación de la microbiota mediante el uso de probióticos, prebióticos, trasplante de microbiota fecal y ejercicio físico.

Palabras clave: disbiosis, eje microbiota-intestino-cerebro, enfermedad de Alzheimer, microbiota, neuroinflamación.

La enfermedad de Alzheimer

La enfermedad de Alzheimer (EA) es una enfermedad de carácter neurodegenerativo y la principal causa de demencia en el mundo según la Organización Mundial de la Salud. Se caracteriza por la pérdida de memoria progresiva y trastornos conductuales (*World Health Organisation*, 2017). Es una de las enfermedades más comunes en personas de edad avanzada, suele manifestarse a partir de los 65 años (Reitz y Mayeux, 2014).

El primero en caracterizar la enfermedad fue Alöis Alzheimer en 1907. Describió los síntomas de Auguste Deter, una mujer de 51 años afectada por demencia. Tras su muerte realizó un examen cerebral encontrando: placas seniles, ovillos neurofibrilares y presencia de proteína β -amiloide (**Fig. 1**). Actualmente estas son las características neuropatológicas de la EA (Bondi *et al.*, 2017).

Agentes causales de la enfermedad de Alzheimer

Hasta ahora se daba por hecho que la edad avanzada, los antecedentes familiares y genes de susceptibilidad eran los principales factores de riesgo (Reitz *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2019), sin embargo, el rápido aumento de la EA en la población no se puede explicar solo atendiendo a la genética (Hu *et al.*, 2016). Esto

Forma de mencionar este artículo: Fernández Martín, I. 2020, Papel de la microbiota intestinal en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. *AmbioCiencias*, 18, 31-40. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

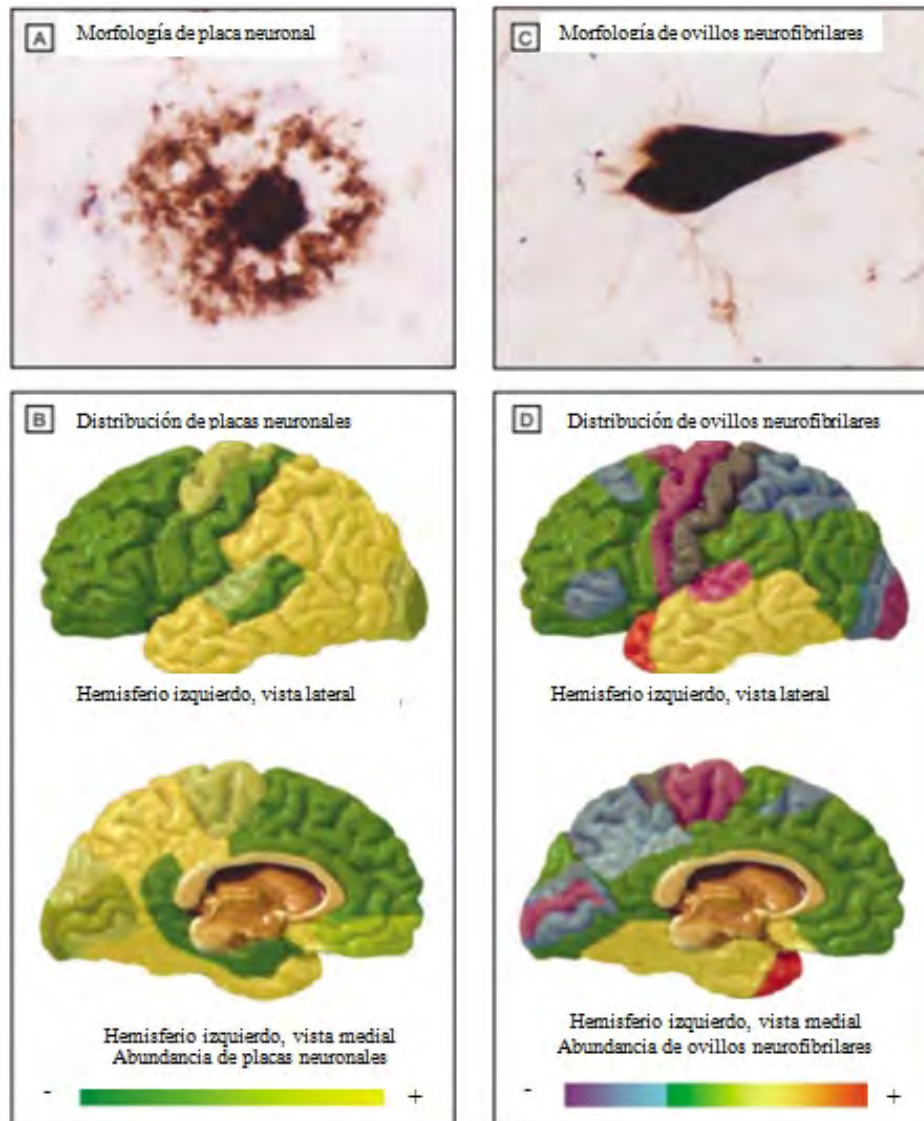


Figura 1. Placas neuronales y ovillos neurofibrilares: morfología (A y C) y distribución en el córtex cerebral (B y D) (Cummings *et al.*, 2002)

nos lleva a pensar que los factores ambientales también juegan un papel crucial. Los principales factores de riesgo son enfermedades cerebrovasculares, hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 (DM2), elevado peso corporal, colesterol, tabaquismo, sedentarismo, dieta, escasa actividad intelectual entre otros (**Fig. 2**) (Lindsay *et al.*, 2002; Campdelacreu, 2012; Hu *et al.*, 2016; Bondi *et al.*, 2017; Barragán *et al.*, 2019; Serrano-Pozo y Growdon, 2019).

Sin embargo, en los últimos años se ha visto que otro factor importante que se podría asociar al desarrollo de EA es la alteración en la composición de la microbiota intestinal. Está relacionada con diversas enfermedades (obesidad, DM2, hipertensión, depresión, síndrome metabólico) y todas ellas son factores de riesgo de la EA (Hu *et al.*, 2016).

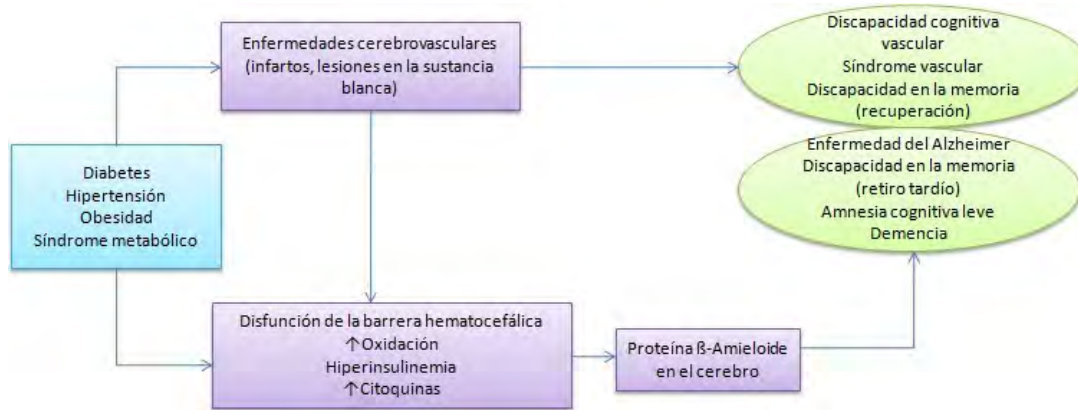


Figura 2. Principales mecanismos de interacción entre factores de riesgo vascular y disfunción cognitiva: enfermedades cerebrovasculares y acúmulos de proteína β -amiloide. Esquema adaptado de Reitz *et al.*, 2011

Microbiota intestinal

Se entiende por microbiota intestinal la comunidad de microorganismos presentes de manera natural en el intestino, que conforman una relación simbiótica con el cuerpo humano, llevando a cabo funciones inmunes y metabólicas de manera conjunta (Hill *et al.*, 2014; Rinninella *et al.*, 2019). La microbiota intestinal está constituida en su mayoría por bacterias, pero también hay hongos, virus y protozoos. Los filos con más presencia son: *Firmicutes* (51%) y *Bacteroidetes* (48%) (Giau *et al.*, 2018). No obstante, existen variaciones de la microbiota a diferentes niveles:

- **Variabilidad interindividual:** dependiendo del tipo de parto, si ha habido o no lactancia materna y cuánto ha durado esta, la dieta, el consumo de antibióticos, frecuencia con que se practica ejercicio... (Szablewski, 2017).
- **Dentro del mismo individuo:** la microbiota varía dependiendo de la zona intestinal que analicemos. El intestino delgado está menos colonizado, por su cercanía al estómago el pH es muy ácido y el tiempo de tránsito muy rápido. Mientras que en el intestino grueso el pH es más neutro y el tránsito más lento, alcanzándose la mayor abundancia de microorganismos en el colon (Passos y Morales-Filho, 2017; Rinninella *et al.*, 2019).
- **A lo largo de la vida:** la colonización del tracto gastrointestinal comienza antes del nacimiento y posteriormente continúa su diversificación hasta los 3 años (Passos y Morales-Filho, 2017; Giau *et al.*, 2018). No obstante cuando ya está formada puede alterarse por consumo de antibióticos, estrés, las infecciones, el consumo de drogas, etc. (Hu *et al.*, 2016). Finalmente a partir de los 70 años se ha observado una disminución en la diversidad

de la microbiota, lo cual puede explicar la existencia de un sistema inmune más sensible y una absorción de nutrientes más pobre (Kim y Jazwinski, 2019).

Por todo ello no hay una microbiota “tipo” que sea la mejor, pero sí que debe existir un equilibrio entre bacterias beneficiosas (liberan sustancias antiinflamatorias) y perjudiciales (liberan sustancias proinflamatorias) (Rinninella *et al.*, 2019).

Eje microbiota-intestino-cerebro y relación con la enfermedad de Alzheimer

El eje microbiota-intestino-cerebro tiene un carácter bidireccional y actúa a diferentes niveles: nervioso, endocrino, inmune y metabólico (**Fig. 3**). Cuando la composición de la microbiota intestinal se ve alterada (disbiosis) se produce una inflamación generalizada por el incremento de citocinas proinflamatorias. Esta inflamación es la que provoca que sea más permeable la barrera intestinal y se escapen productos metabólicos de las bacterias que pueden llegar al torrente sanguíneo, atravesar la barrera hematoencefálica (BHE) y desencadenar diferentes consecuencias en el sistema nervioso central (SNC). Estos acontecimientos parecen ser determinantes en el origen y evolución de la EA y otras enfermedades de carácter neurodegenerativo (Giau *et al.*, 2018).

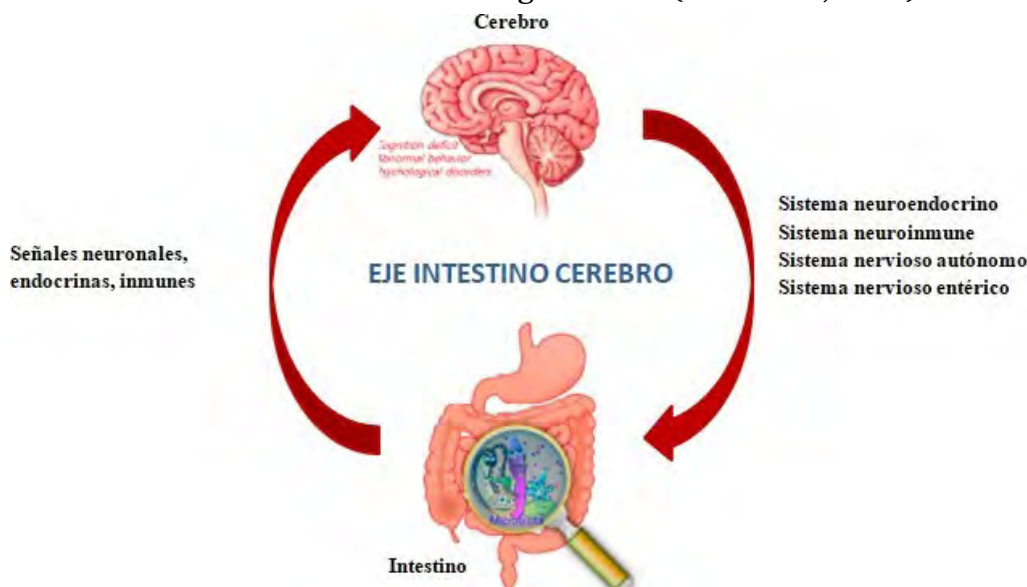


Figura 3. Regulación a tres niveles (hormonal, neuronal e inmunológico) de la señalización bidireccional del eje intestino-cerebro. Imagen adaptada de Giau *et al.*, 2018

Como ya se ha mencionado, el problema surge cuando hay disbiosis intestinal. Unos microorganismos empiezan a ocupar el nicho de otros alterándose por completo la homeostasis de la microbiota (Shen, 2017; Szablewski, 2017). De manera simplificada, los principales metabolitos proinflamatorios liberados por las bacterias son amiloides y lipopolisacáridos (LPS). Su aumento provoca inflamación y permeabilización de la barrera intestinal. Si estos metabolitos consiguen pasar a la sangre se produce una inflamación sistémica, se permeabiliza la BHE y llegan hasta el SNC. En consecuencia, se origina neuroinflamación, característica de la EA (Kowalski y Mulak, 2019). Además, de manera análoga, infecciones bacterianas y víricas pueden ocasionar una situación de disbiosis que desencadena el mismo proceso (Szablewsky, 2017).

Procesos patogénicos de la enfermedad de Alzheimer asociados a la microbiota

- **Los amiloides bacterianos** son un producto bacteriano tóxico. Debido a su similitud el sistema inmune no discrimina entre los amiloides bacterianos y los amiloides del SNC (Kowalski y Mulak, 2019). Por ello se desencadenan graves respuestas de reacción autoinmune y en consecuencia una neuroinflamación vinculada con la EA (Jiang *et al.*, 2017).
- **Los LPS** son el componente principal de la pared celular de bacterias Gram-negativas. En condiciones de permeabilidad son capaces de atravesar la barrera intestinal, la BHE y desencadenar reacciones de autoinmunidad en el SNC provocando una inflamación crónica característica de la EA (Szablewski, 2017).
Por ejemplo, se ha visto que la administración vía intraperitoneal de LPS en ratones provoca un aumento de agregaciones β -amiloides cerebrales propias de la patogenia de la EA. Estas se disponen en la zona del hipocampo que es la principal responsable de la memoria (Hu *et al.*, 2016; Jiang *et al.*, 2017).
- **Inflamación y disfunción de la barrera intestinal.** La barrera intestinal y la BHE se vuelven más permeables con la edad y es más fácil para los amiloides y el LPS atravesarla en edades avanzadas. Cuando estas sustancias son reconocidas por las células del sistema inmunitario innato se produce una liberación de citocinas proinflamatorias que provocan una inflamación crónica típica en la EA (Luca *et al.*, 2019).
- La **neuroinflamación** es un síntoma definitorio de EA. En condiciones normales el aclaramiento de las sustancias tóxicas que llegan al cerebro es muy eficiente. Pero esta reacción inmune puede ser perjudicial si es continuada. Se ha visto que los pacientes de EA tienen la microglía y los astro-

citados alterados (Calsolaro y Edison, 2016; Kowalski y Mulak, 2019).

- **Procesos infecciosos y enfermedad de Alzheimer.** Se ha encontrado una relación entre la existencia de infecciones producidas por bacterias y virus y el desarrollo de EA. *Helicobacter pylori* es una bacteria del tracto gastrointestinal capaz de originar graves lesiones en la mucosa y el epitelio. Esta bacteria está fuertemente relacionada con la EA (Aguayo *et al.*, 2018). Algo parecido ocurre con el virus del herpes simple tipo 1. Concretamente un estudio mostró que los niveles plasmáticos de amiloides fueron significativamente más altos en pacientes de EA infectados con *Borrelia burgdorferi*, *Chlamydia pneumoniae* y *H. pylori* respecto a los individuos sanos (Angelucci *et al.*, 2019).

Terapias y fármacos para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer mediante la modulación de la microbiota

Como hemos visto, numerosos indicios apuntan a que la EA es una enfermedad de carácter neurodegenerativo que se origina en el intestino a partir de una situación de disbiosis intestinal. Por ello, muchas líneas de investigación se centran principalmente en la modulación de la microbiota intestinal mediante la suplementación de la dieta con probióticos o prebióticos, e intervenciones en la microbiota que permitan restablecer su estado de homeostasis necesario como el trasplante fecal o la práctica de ejercicio físico (Jiang *et al.*, 2017).

- **Los probióticos** son bacterias que en cantidades adecuadas aportan un beneficio a su hospedador (Sánchez *et al.*, 2017). Se ha descrito que en ratones con EA tratados con probióticos se produce un aumento de hormonas beneficiosas para las funciones cognitivas, concretamente la grelina contrarresta el deterioro cognitivo de ratones con EA y la leptina protege del efecto tóxico de las agrupaciones β -amiloides (Distritti *et al.*, 2014).
- El término **prebiótico** hace referencia a las sustancias de la dieta que ocasionan cambios en la composición y/o actividad de la microbiota del tracto gastrointestinal favoreciendo a las bacterias beneficiosas (Liu *et al.*, 2015). En un estudio llevado a cabo con ratones se usaron oligosacáridos extraídos de la planta *Morinda officinalis* como prebiótico. Los ratones mostraron un mejor rendimiento cognitivo y una disminución de placas de β -amiloide en el hipocampo que suele ser la zona más afectada en la EA (Chen *et al.*, 2017).
- **Trasplante fecal.** El vínculo demostrado que existe en el eje microbiota-intestino- cerebro hace que cada vez surjan más terapias enfocadas hacia el trasplante de microbiota de un individuo sano a otro con disbiosis con la fi-

nalidad de restablecer el equilibrio y revertir los daños en el SNC (Sun *et al.*, 2019). Esto se lleva a cabo mediante trasplante fecal y los resultados de los estudios son prometedores.

- **Ejercicio físico.** Se ha demostrado que el ejercicio diario aumenta la diversidad de la microbiota (Karl *et al.*, 2017). En consecuencia, las sustancias potencialmente peligrosas para el desarrollo de la EA que se originan en el intestino se quedan ahí y no llegan al SNC (Rinninella *et al.*, 2019).

Conclusiones

- La causa de la enfermedad de Alzheimer permanece desconocida, pero la interacción entre genes de susceptibilidad y factores ambientales parece ser clave en su desarrollo.
- La principal hipótesis que describe el origen de la enfermedad de Alzheimer se asocia a la existencia de disbiosis, las funciones metabólicas e inmunes no se llevan a cabo de manera óptima y el eje microbiota-intestino-cerebro se ve alterado.
- La disbiosis es un factor común en pacientes con enfermedad de Alzheimer lo cual indica que la composición de la microbiota intestinal influye en la patogenia de la enfermedad.
- La homeostasis de la microbiota intestinal está claramente vinculada con la salud del sistema nervioso central y por ello las líneas de investigación se centran en terapias basadas en la modulación de la microbiota.
- Se ha demostrado que tanto los probióticos, como los prebióticos, el ejercicio físico y el trasplante de microbiota fecal son métodos efectivos contra la enfermedad de Alzheimer. No obstante, se necesitan muchos más estudios para verificar y esclarecer cómo la modulación de la microbiota produce cambios en el SNC y en qué medida son efectivos dichos tratamientos para los pacientes con enfermedad de Alzheimer.

En la **Fig. 4** se representan, a modo de esquema, las conclusiones obtenidas que reflejan una visión general de los mecanismos patogénicos y las posibles aproximaciones terapéuticas basadas en la modulación de la microbiota.

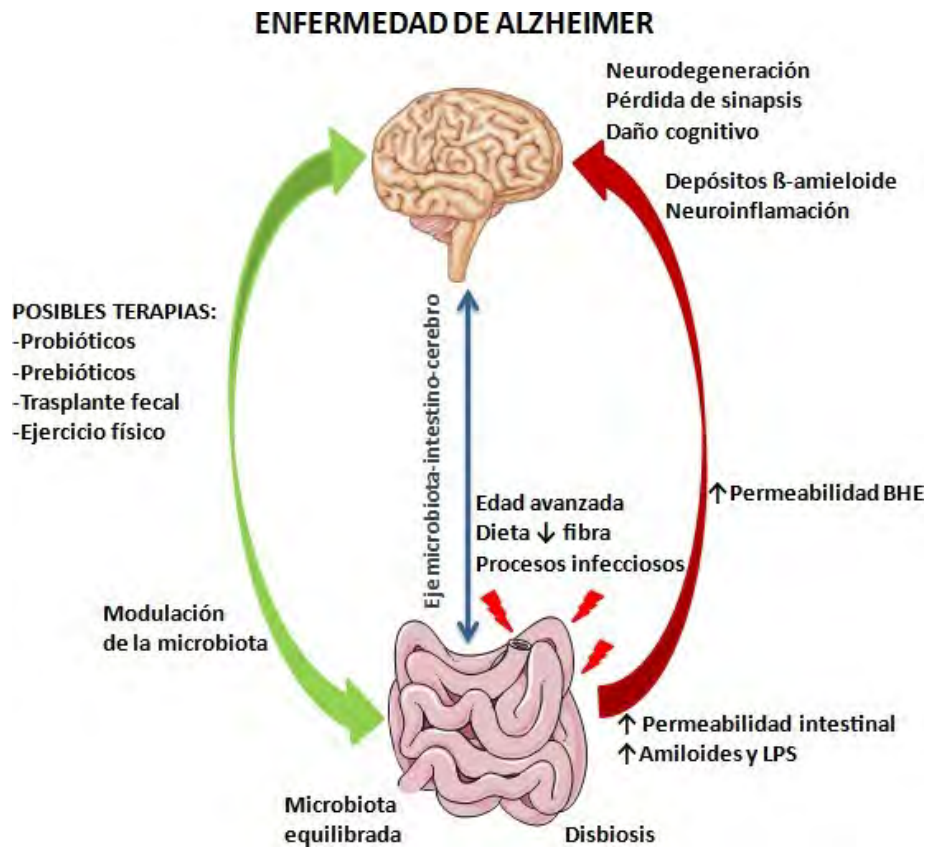


Figura 4. Representación esquemática de cómo la disbiosis afecta en la patogénesis de la enfermedad de Alzheimer mediante el eje microbiota-intestino-cerebro y las posibles terapias que revierten la situación para lograr una microbiota equilibrada

Bibliografía

- Aguayo, S., Schuh, C. M. A. P., Vicente, B. y Aguayo, L. G. 2018. Association between Alzheimer’s disease and oral and gut microbiota: are pore forming proteins the missing link?, *Journal of Alzheimer’s Disease*, 65:29-46
- Angelucci, F., Cechova, K., Amlerova, J. y Hort, J. 2019. Antibiotics, gut microbiota, and Alzheimer’s disease, *Journal of Neuroinflammation*, 16:108
- Barragán, D., García, M. A., Parra, A. y Tejero, J. 2019. Enfermedad de Alzheimer, *Medicine*, 12:4338-4346
- Bondi, M. W., Edmonds, E. C., y Salmon, D. P. 2017. Alzheimer’s disease: past, present and future, *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23:818-831
- Calsolaro, V. y Edison, P. 2016. Neuroinflammation in Alzheimer’s disease: current evidence and future directions, *Alzheimer’s & Dementia: the*



- Journal of the Alzheimer's Association*, 12:719-732
- Campdelacreu, J. 2012. Enfermedad de Parkinson y enfermedad de Alzheimer: factores de riesgo ambientales, *Neurología*, 29:541-549
- Chen, D., Yang, X., Yang, J., Lai, G., Yong, T., Tang, X., Shuai, O., Zhou, G., Xie, Y. y Wu, Q. 2017. Prebiotic effect of fructooligosaccharides from *Morinda officinalis* on Alzheimer's disease in rodent models by targeting the microbiota-gut-brain axis, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9(403)
- Cummings, J. 2002. Alzheimer disease, *American Medical Association*, 287:2335-2338
- Distrutti, E., O'Reilly, J., McDonald, C., Cipriani, S., Renga, B., Lynch, M. M. y Fiorucci, S. 2014. Modulation of intestinal microbiota by the probiotic VSL#3 resets brain gene expression and ameliorates the age-related deficit in LTP, *Plos ONE*, 9:1-11
- Giau, V. V., Wu, S. Y., Jamerlan, A., An, S. S. A., Kim, S. Y. y Hulme, J. 2018. Gut microbiota and their neuroinflammatory implications in Alzheimer's disease, *Nutrients*, 10:1765
- Hill, J. M., Bhattacharjee, S., Pogue, A. I. y Lukiw, J. 2014. The gastrointestinal tract microbiome and potential link to Alzheimer's disease, *Frontiers in Neurology*, 5:1-4
- Hu, X., Wang, T. y Jin, F. 2016. Alzheimer's disease and gut microbiota, *Science China*, 59:1006-1023
- Jiang, C., Li, G., Huang, P., Liu, Z. y Zhao, B. 2017. The gut microbiota and Alzheimer's disease, *Journal of Alzheimer's Disease*, 58:1-15
- Karl, J. P., Margolis, L. M., Madslie, E. H., Murphy, N. E., Castellani, J. W., Gundersen, Y., Hoke, A. V., Levanie, M. W., Kumar, R., Chakraborty, N., et al. 2017. Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress, *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*, 312:559-571
- Kim, S. y Jazwinski, S. M. 2019. The gut microbiota and healthy aging, *Gerontology*, 64:513-520.
- Kowalski, K. y Mulak, A. 2019. Brain-gut-microbiota axis in Alzheimer's disease, *Journal of Neurogastroenterology and Motility*, 25:48-60
- Lindsay, J., Laurin, D., Verreault, R., Hébert, R., Helliwell, B., Hill, G. B. y McDowell, I. 2002. Risk factors for Alzheimer's disease: a prospective analysis from the canadian study of health and aging, *American Journal of Epidemiology*, 156:445-453
- Liu, X., Cao, S. y Zhang, X. 2015 Modulation of gut microbiota-brain axis by probiotics, prebiotics, and diet, *Journal of Agricultural and Food*

- Chemistry*, 63:7885-7895
- Luca, M., Di Mauro, M., Di Mauro, M. y Luca, A. 2019. Gut microbiota in Alzheimer's disease, depression, and type 2 diabetes mellitus: the role of oxidative stress, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 1-10
- Passos, M. C. F y Morales-Filho, J. P. 2017. Intestinal microbiota in digestive diseases, *Arquivos de Gastroenterologia*, 54:255-262
- Reitz, C., Brayne, C. y Mayeux, R. 2011. Epidemiology of Alzheimer's disease, *Nature Reviews Neurology*, 7:137-152
- Reitz, C. y Mayeux, R. 2014. Alzheimer disease: epidemiology, diagnostic criteria, risk factors and biomarkers, *Biochemical Pharmacology*, 88:640-651
- Rinninella, E., Raoul, P., Cintoni, M., Franceschi, F., Miggiano, G. A. D., Gasbarrini, A. y Mele, M. C. 2019. What is the healthy gut microbiota composition? A changing ecosystem across age, environment, diet and disease, *Microorganisms*, 7:1-22
- Sánchez, B., Delgado, S., Blanco-Mínguez, A., Lourenço, A., Gueimonde, M. y Margolles, A. 2017. Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease, *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(1)
- Serrano-Pozo, A. y Growdon, J. H. 2019. Is Alzheimer's disease risk modifiable?, *Journal of Alzheimer's Disease*, 67:795-819
- Shen, T-C. D. 2017. Diet and gut microbiota in health and disease, *Nestle Nutrition Institute Workshop Series*, 88:117-126
- Silva, M. V. F., Loures, C. de M. G., Alves, L. C. V., de Souza, L. C., Borges, K. B. G., y Carvalho, M. das G. 2019. Alzheimer's disease: risk factors and potentially protective measures, *Journal of Biomedical Science*, 26:1-11
- Sun, J., Xu, J., Ling, Y., Wang, F., Gong, T., Yang, C., Ye, S., Ye, K., Wei, D., Song, Z., Chen, D. y Liu, J. 2019. Fecal microbiota transplantation alleviated Alzheimer's disease-like pathogenesis in APP/PS1 transgenic mice, *Translational Psychiatry*, 9:1-13
- Szablewski, L. 2017. Human gut microbiota in health and Alzheimer's disease, *Journal of Alzheimer's Disease*, 62:549-560
- World Health Organisation (2019) Dementia. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia> (Accedido: 26 de febrero de 2020)

SIGUIENDO LA PISTA

Evolución de la distribución de las pectinas en la zona de unión en injertos de tomate

Nerea Martínez Romera¹, Carlos Frey², José Luis Acebes²

1. Graduada en Biología, nmartro6@estudiantes.unileon.es

2. Área de Fisiología Vegetal, cfred@unileon.es, jl.acebes@unileon.es

Resumen

Se ha estudiado la distribución de las pectinas en las paredes celulares durante el desarrollo de autoinjertos de tomate (*Solanum lycopersicum* L. “Minibel-Cocktail”) entre 1 y 20 días después del injerto. Se utilizó la tinción con rojo de rukenio para estudiar la distribución general de las pectinas, así como técnicas de inmunohistoquímica para analizar la localización de homogalacturonano poco o no metilesterificado –utilizando el anticuerpo monoclonal LM19– y muy metilesterificado –con el anticuerpo LM20–. Los resultados mostraron cómo la púa y el portainjerto siguieron una secuencia ordenada de sucesos de adhesión, proliferación del callo y reconexión vascular. En los primeros días, la acumulación de pectinas fue más acusada en la púa. Una vez establecido el injerto, se observó un aumento de la deposición de pectinas, particularmente las ricas en homogalacturonano poco metilesterificado, tanto en la zona de corte como en la zona de unión. Estos resultados muestran que a lo largo del proceso de injerto se produce una deposición de pectinas ricas en homogalacturonano poco metilesterificado en la zona de corte, la cual permite la adhesión entre púa y portainjerto, y que una vez establecido el injerto, el contenido de pectinas sigue siendo abundante en la zona de unión.

Palabras clave: autoinjerto, inmunohistoquímica, homogalacturonano, *Solanum lycopersicum*.

Abreviaturas: DPI: días después del injerto; HG: homogalacturonano

El injerto: el arte y la práctica de combinar

El injerto es una técnica que consiste en cortar y unir fragmentos de plantas que posteriormente crecerán como un único organismo. Este procedimiento implica la combinación de dos plantas, donde generalmente una aporta la parte aérea (púa o vástago) y la otra el sistema radicular (portainjerto o patrón). En la **Fig. 1** se esquematiza el proceso de injertado.

El injerto es una técnica muy antigua, de la cual ya encontramos evidencias históricas en la Antigua Grecia (Mudge *et al.*, 2009). Actualmente, el uso del

Forma de mencionar este artículo: Martínez Romera, N., Frey, C., Acebes, J.L. 2020, Evolución de la distribución de las pectinas en la zona de unión en injertos de tomate. *AmbioCiencias*, 18, 41-56. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

injerto está muy extendido en la práctica agrícola, principalmente como método de propagación vegetativa. Uno de los cultivos más beneficiados por la implementación de los injertos es el del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), especialmente, por el uso de portainjertos resistentes a enfermedades y a otras condiciones ambientales desfavorables (Lee *et al.*, 2010).

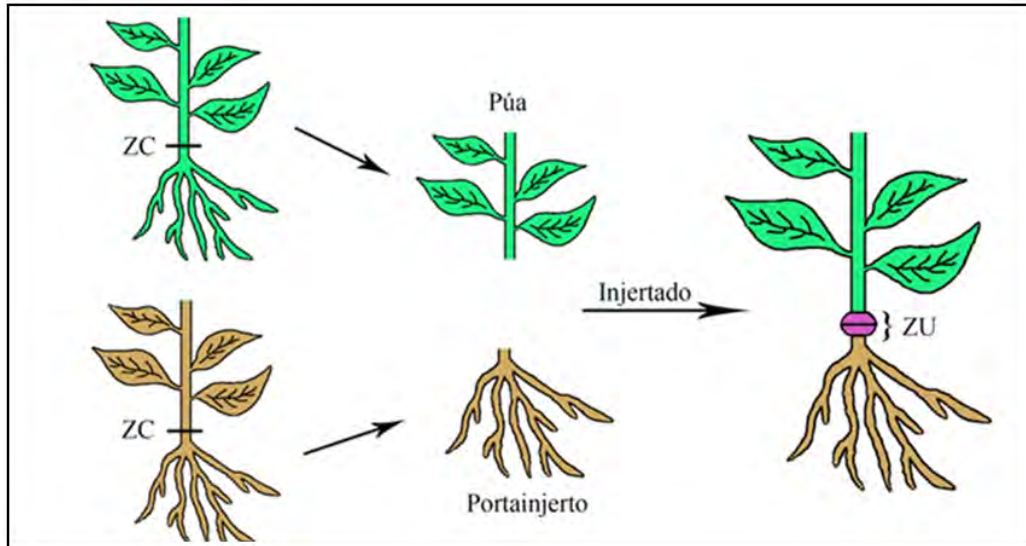


Figura 1. Esquema de injerto en una planta. Las zonas de corte (ZC) seccionan la parte aérea de una planta y la radical de otra, que constituirán respectivamente la púa y el portainjerto, los cuales se van a unir posteriormente formando una sola planta. En la planta injertada podemos observar la zona de unión (ZU)

Al realizar el injerto, como respuesta a la herida se produce una proliferación celular en las superficies cortadas, dando lugar a un callo. Más adelante se produce la adhesión de los tejidos, donde las células de la zona de corte de púa y portainjerto se interdigitan, y se depositan materiales celulares como pectinas (Melnik y Meyerowitz, 2015). Posteriormente tiene lugar la diferenciación de las células del callo que dará lugar a la formación de xilema y floema (Melnik y Meyerowitz, 2015). La púa no restablecerá sus funciones normales hasta que la conexión vascular haya finalizado y pueda recibir agua y nutrientes, mientras que el portainjerto se deteriorará si no recibe metabolitos formados en la parte superior de la planta (Hartmann *et al.*, 2018).

Participación de la pared celular en el injerto

La pared celular es una estructura semirrígida que rodea el protoplasto de las células de las plantas, siendo indispensable durante su crecimiento y desarrollo (Albersheim *et al.*, 2011). Como consecuencia, también juega un papel crucial en el correcto establecimiento del injerto (Sala *et al.*, 2019), en especial,

en el momento de adhesión entre los tejidos de la púa y el portainjerto. El componente principal de las paredes celulares es la celulosa, un polisacárido de glucosa que forma microfibrillas, las cuales se encuentran embebidas en una matriz de polisacáridos complejos de dos tipos (Albersheim *et al.*, 2011): las hemicelulosas, que se unen mediante puentes de hidrógeno a microfibrillas de celulosa, y las pectinas, que tienen una alta proporción de ácido D-galacturónico.

Las principales pectinas son el homogalacturonano (HG), el ramnogalacturonano I y el ramnogalacturonano II (Albersheim *et al.*, 2011). El HG es incorporado a la pared en forma metil-esterificada. La eliminación de los ésteres en la pared por pectinmetil-esterasas disminuye el grado de metilesterificación, el cual influye en las propiedades del HG (Sala *et al.*, 2019). Además, uno de los primeros acontecimientos que suceden en la zona de unión de los injertos es la deposición de HG con un bajo grado de metilesterificación como respuesta a la herida (Sala *et al.*, 2019). Las pectinas, además, promueven la adhesión de los tejidos de púa y portainjerto en la zona de corte (Pina *et al.*, 2012). Todavía desconocemos numerosos detalles sobre cómo varían las pectinas en la secuencia de acontecimientos que suceden en el injerto desde la realización del corte hasta que se establece la reconexión vascular.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es elucidar la secuencia de cambios que se producen en las pectinas de la pared celular, en la zona de unión, durante el establecimiento de injertos de tomate, mediante métodos histológicos e inmunohistoquímicos *in muro*.

Material y métodos

Se sembraron semillas de tomate *Solanum lycopersicum* “Minibel”. Una vez habían germinado se colocaron en una cámara de cultivo a 23 ± 1 °C en condiciones de fotoperiodo de 16 horas de luz con una iluminancia de 3000 lux ($\approx 41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (**Fig. 2 A**). Cuando las plantas alcanzaron un diámetro de tallo de 4-5 mm (un mes aproximadamente) (**Fig. 2 B**) se procedió al injertado (**Fig. 2 C-H**).

Se realizaron autoinjertos de 12 plantas para la toma de muestras en diferentes días post-injerto (DPI), obteniendo dos réplicas de cada tiempo. Los tiempos fueron 0 DPI (plantas control, no injertadas), 1, 2, 4, 8 y 20 DPI.

Una vez transcurrido el tiempo de injertado de cada planta, se seleccionó la porción del tallo donde se encuentra la zona de unión y se realizaron cortes diferenciales (**Fig. 3**).

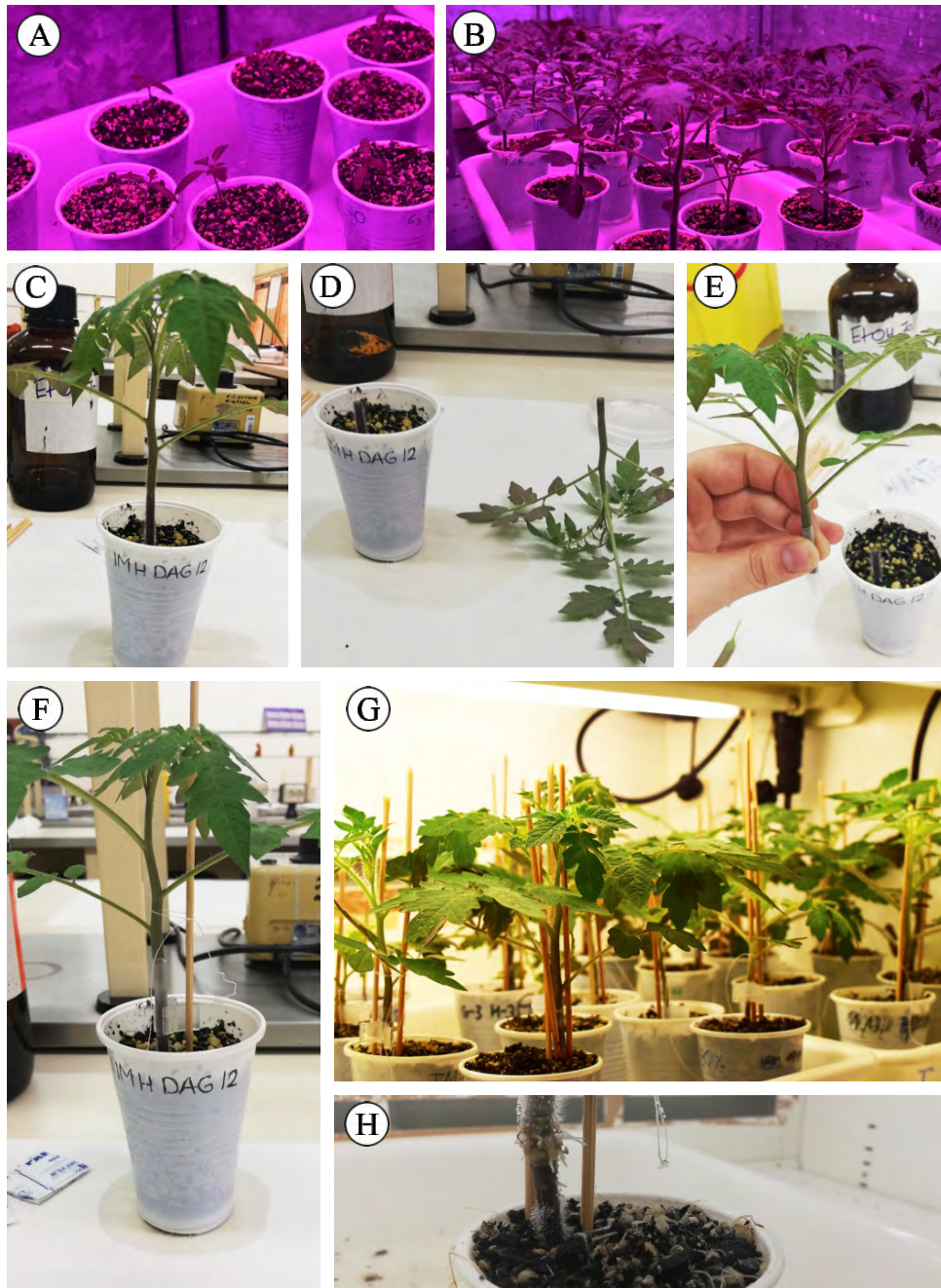


Figura 2. Cultivo de las plantas de tomate e injertado. **A-B** Crecimiento de las plántulas en la cámara de cultivo. Plantas de dos semanas (**A**), plantas que alcanzaron el tamaño necesario para proceder al injertado al mes de su siembra (**B**). **C-F** Proceso de injertado. **C-D** Realización del corte horizontal que separa púa y portainjerto. **E** Enrollado del extremo de la púa con Parafilm®. El otro extremo del cilindro de Parafilm® posteriormente se introdujo en el portainjerto. **F** Unión de púa y portainjerto ayudada del clip y sujeción de la planta con tutores. **G** Plantas injertadas situadas en la cámara de cultivo durante los siguientes días post-injerto. **H** Detalle de injerto de una planta de tomate a los 20 DPI; obsérvese la proliferación de raíces adventicias y el ensanchamiento de la zona del callo

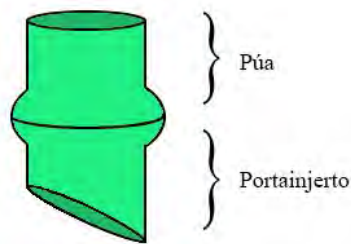


Figura 3. Imagen esquematizada de las muestras de tallo tomadas para la preparación de los cortes histológicos.

Para los estudios inmunohistoquímicos se utilizaron dos anticuerpos primarios (Plant Probes, Leeds, UK): LM19, el cual se une a regiones (epítomos) de HG poco o no metilesterificados, y LM20, que se une a epítomos de HG muy metilesterificados (Verhertbruggen *et al.*, 2009). Como anticuerpo secundario se utilizó inmunoglobulina G anti-rata, unida a isotiocianato de fluoresceína, que aporta una fluorescencia verde. Se realizó además un marcaje con calcoflúor 0,2 % (p/v), que se une a la celulosa, y para el montaje se utilizó citiflúor[®], solución que reduce el desvanecimiento de la fluorescencia.

Resultados

Análisis macroscópico del desarrollo del injerto

La edad seleccionada de las plantas de tomate para la realización de los injertos fue un mes aproximadamente (**Fig. 4 A**). Los primeros días después del corte, se apreció en la púa y el portainjerto la formación de una capa necrótica en respuesta a herida, desde 1 DPI hasta el establecimiento de la unión (**Fig. 4 B-G**). La capa necrótica detuvo su crecimiento en injertos viables, en los cuales proliferaba el callo (**Fig. 4 F**). Sin embargo, en un injerto que no progresó, la capa necrótica aumentó su tamaño considerablemente, tanto en la púa como en el portainjerto (**Fig. 4 H**). La formación de callo incipiente se apreció ya a los 4 DPI (**Fig. 4 D**), y fue aumentando su volumen hasta los 20 DPI (**Fig. 4 F**).

Distribución de las pectinas en los tejidos del tallo de tomate

En una sección transversal del tallo de tomate encontramos en la zona más externa, la epidermis (uniseriada), seguida por el parénquima cortical, el sistema vascular y finalmente el parénquima medular en la parte central. El sistema vascular está compuesto por el floema (más externo), seguido por el meristemo vascular y finalmente el xilema (**Fig. 5 A,B,D**). En cuanto a la distribución de pectinas, se observó que en todos los tejidos del tallo se encontraban asociadas a las paredes celulares (**Fig. 5 C,E-G**). En general, se observó un mayor marcaje del anticuerpo LM19 que del LM20 (**Fig. 5 F-G**).

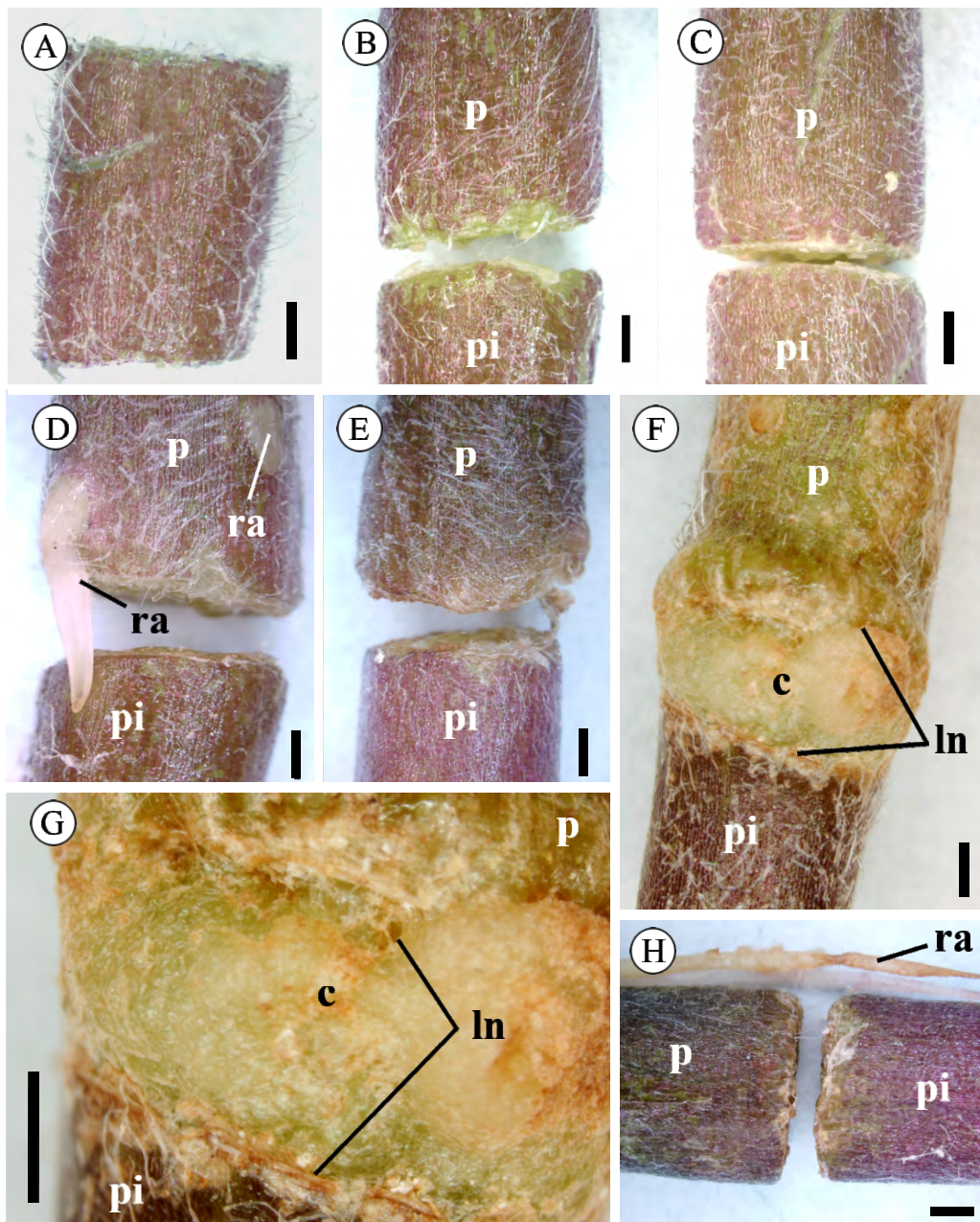


Figura 4. Aspecto macroscópico de los injertos de tomate a lo largo de su desarrollo. **A** Planta no injertada (0 DPI). **B** 1 DPI. **C** 2 DPI. **D** 4 DPI. **E** 8 DPI. **F, G** 20 DPI. **H** Injerto no funcional a los 20 DPI. **D, H** Obsérvese el desarrollo de raíces adventicias (ra) en la púa (p), pero no en el portainjerto (pi). **F, G** Véanse las líneas necróticas (ln) en los límites del callo (c), y el cambio de color de verde a crema tras el establecimiento de la unión. **H** Obsérvese en el injerto fracasado la respuesta de necrosis tanto en la púa como en el portainjerto y la diferente coloración. Barras: **A, B, C, D, E, F, H** = 1 mm. **G** = 500 μ m. Abreviaturas: c callo; ln línea necrótica; p púa; pi portainjerto; ra raíz adventicia

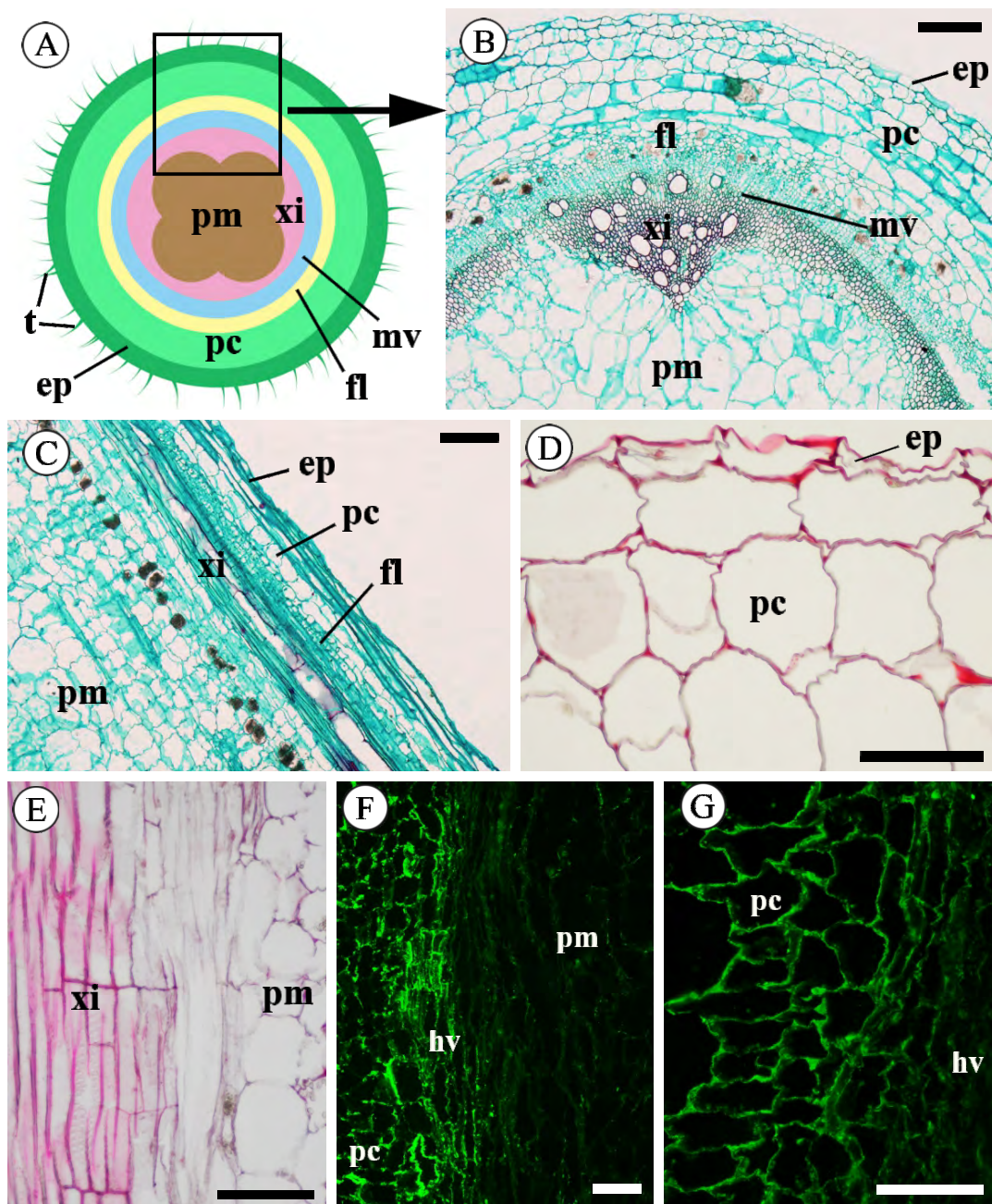


Figura 5. Caracterización histológica del tallo de tomate. **A** Esquema de un corte transversal del tallo de tomate, indicando la organización de los tejidos. **B** Corte transversal del tallo. **C-G** Corte longitudinal del tallo. **B, C** Tinción safranina-verde rápido. **D, E** Tinción con rojo de rutenio. **F, G** Inmunohistoquímica. **F** Marcaje con el anticuerpo LM19. Véase la distribución asimétrica del marcaje, siendo mayor en el parénquima cortical (*pc*) y en los haces vasculares (*hv*) que en el parénquima medular (*pm*). **G** Distribución del marcaje con LM20. Barras: **B, C** 200 μ m. **D, E, F, G** 100 μ m. **B, C** Tomadas de Frey (2018). Abreviaturas: *ep* epidermis; *fl* floema; *hv* haz vascular; *mv* meristemo vascular; *pc* parénquima cortical; *pm* parénquima medular; *t* tricoma; *xi* xilema

Distribución de pectinas en la zona de unión del injerto

Tinción con rojo de rutenio

En cuanto a la distribución general de las pectinas durante el establecimiento del injerto observada mediante una tinción con rojo de rutenio, se apreció una acumulación de pectinas en la zona de corte, tanto en la púa (**Fig. 6 A,C,G**) como en el portainjerto (**Fig. 6 B,D,E,H**). Además, la deposición de pectinas fue asimétrica, siendo en los primeros días post-injerto, mayor en la púa (**Fig. 6 A,C**). La formación de callo se empezó a apreciar ligeramente en la púa ya a los 2 DPI (**Fig. 6 C**) siendo más visible a los 8 DPI (**Fig. 6 G**). Se detectó también una acumulación de pectinas en las zonas de corte de los haces vasculares seccionados (**Fig. 6 C,D**). Y se observó cómo, a veces, la deposición de pectinas afectó a varias capas de células, sobre todo en la púa (**Fig. 6 A,F**). Por último, a los 20 DPI se observó una gran deposición de pectinas, lo cual permite identificar la zona de unión (**Fig. 6 I,J,K**).

Marcaje con Lm19

Se observó un aumento de la cantidad de marcaje con LM19 en la zona de corte a medida que aumentó el tiempo post-injerto, indicando una acumulación de HG no metilesterificado o poco metilesterificado en la zona de corte (**Fig. 7 A-I**). En los primeros días después del injerto, se observó una distribución asimétrica del marcaje, siendo mucho mayor en la zona de corte (**Fig. 7 D**). También se hizo patente un aumento de marcaje en la zona de corte de los haces vasculares heridos (**Fig. 7 D**). En la púa se apreciaron células de pequeño tamaño agrupadas, indicadoras de la formación de callo, y con un marcaje importante con LM19 (**Fig. 7 G**). Además, se observó un aumento de marcaje en la zona de unión a los 20 días, tras el establecimiento del injerto (**Fig. 7 J-K**).

Marcaje con Lm20

En el estudio de la distribución del marcaje con LM20 se apreció un aumento progresivo del mismo en la zona de corte a lo largo del tiempo de establecimiento del injerto, indicando que se producía una acumulación de HG metilesterificado (**Fig. 8 A-I**). No obstante, la intensidad del marcaje con LM20 fue mucho menor que el marcaje con LM19 en la zona de corte, indicando una menor presencia de HG metilesterificado. A los 20 DPI se detectó presencia de LM20 en la zona de unión de púa y portainjerto (**Fig. 8 I-J**).

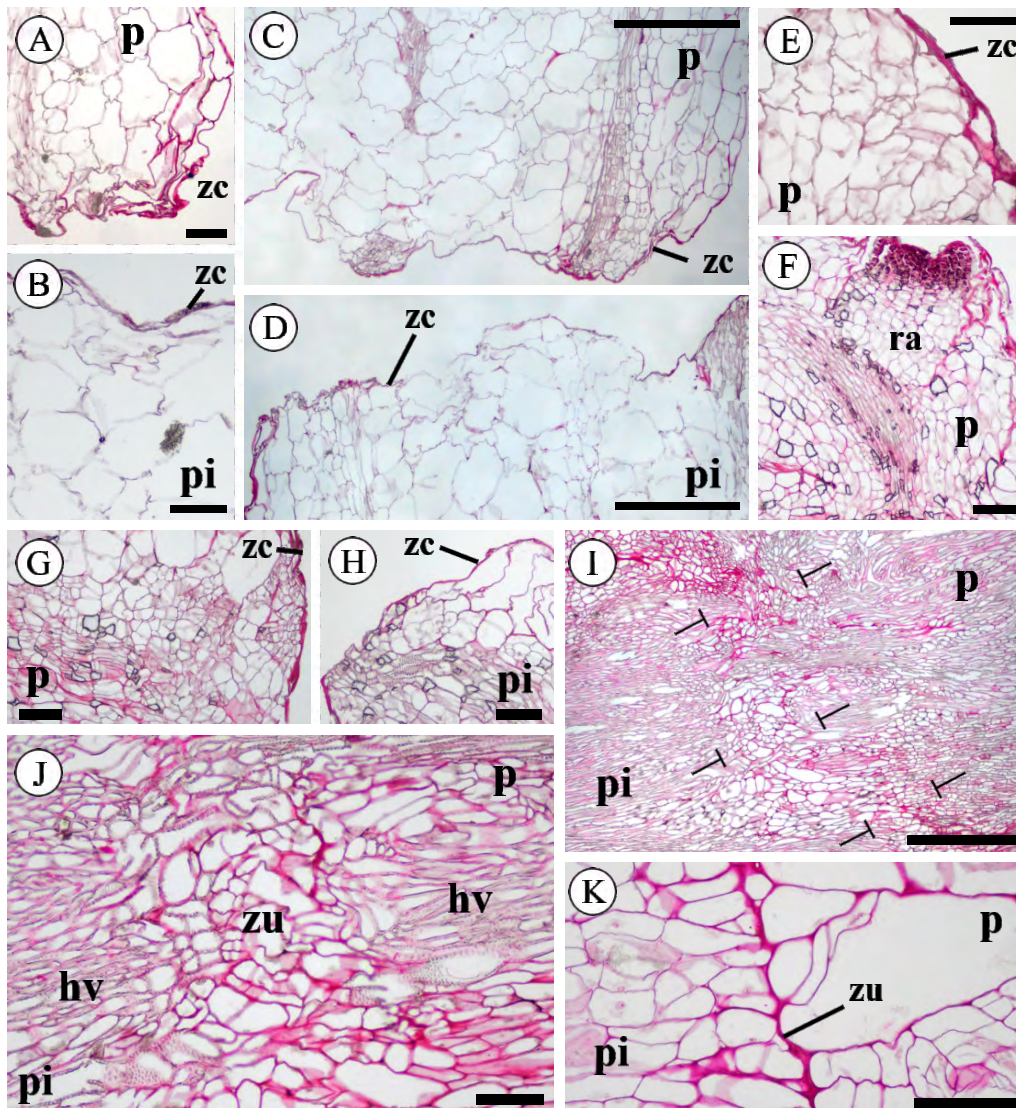


Figura 6. Tinción de rojo de rutenio sobre cortes histológicos de injertos en tomate durante el establecimiento del mismo: **A, B** 1 DPI, **C, D** 2 DPI, **E** 4 DPI, **F-H** 8 DPI e **I-K** 20 DPI. **A, C, F, G** Corte histológico de la púa. **B, D, E, H** Corte histológico del portainjerto. **A-H** Obsérvese la zona de corte (*zc*) y la intensidad de tinción en la zona indicando la deposición de pectinas. **F** Sección transversal de una raíz adventicia (*ra*) en la púa a los 8 DPI, véase la gran deposición de pectinas en las células del extremo apical de la misma. **I** Se delimita con flechas (\top) la zona de unión entre púa y portainjerto. **J** Véase la reconexión de los haces vasculares (*hv*) entre la púa y el portainjerto en la zona de unión (*zu*). Barras: **A, B, E, F, G, H, J, K** = 100 μ m. **C, D, I** = 500 μ m. Abreviaturas: *hv* haz vascular; *p* púa; *pi* portainjerto; *ra* raíz adventicia; *zc* zona de corte; *zu* zona de unión

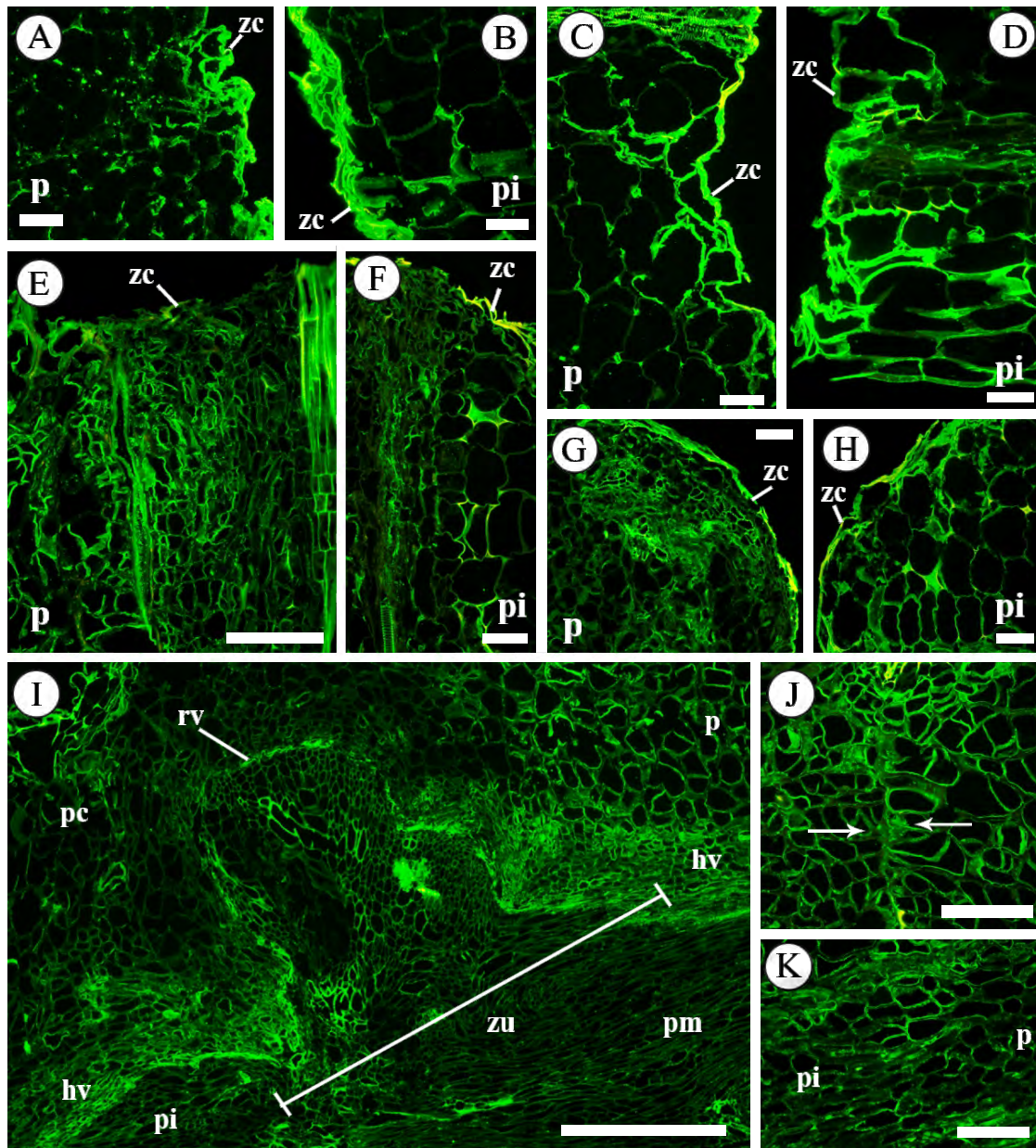


Figura 7. Distribución de homogalacturonano poco o no metilsterificado (marcaje con LM19) en el desarrollo del injerto. **A, B** 1 DPI. **C, D** 2 DPI. **E, F** 4 DPI. **G, H** 8 DPI. **I, J, K** 20 DPI. **A, C, E, G** Corte de la púa (*p*). **B, D, F, H** Corte del portainjerto (*pi*). **A-H** Véase el aumento de marcaje progresivo en la zona de corte (*zc*). **G-H** Obsérvese la diferencia de tamaño de las células de la púa y del portainjerto respectivamente, indicando la formación de callo únicamente en la púa (respuesta asimétrica). **I** Zona de unión entre la púa y el portainjerto. Véase la reconexión vascular (*rv*) de los haces del tallo, permitiendo el establecimiento del injerto. **J-K** Detalles de la zona de unión a los 20 DPI. Obsérvese la acumulación de pectinas delineando la zona de unión entre la púa y el portainjerto (línea segmentada en **I** y flechas en **J**). Barras: **A, B, C, D, E, F, G, H, K** = 100 μ m. **I, J** = 500 μ m. Abreviaturas: *hv* haz vascular; *p* púa; *pc* parénquima cortical; *pi* portainjerto; *pm* parénquima medular; *rv* reconexión vascular; *zc* zona de corte; *zu* zona de unión

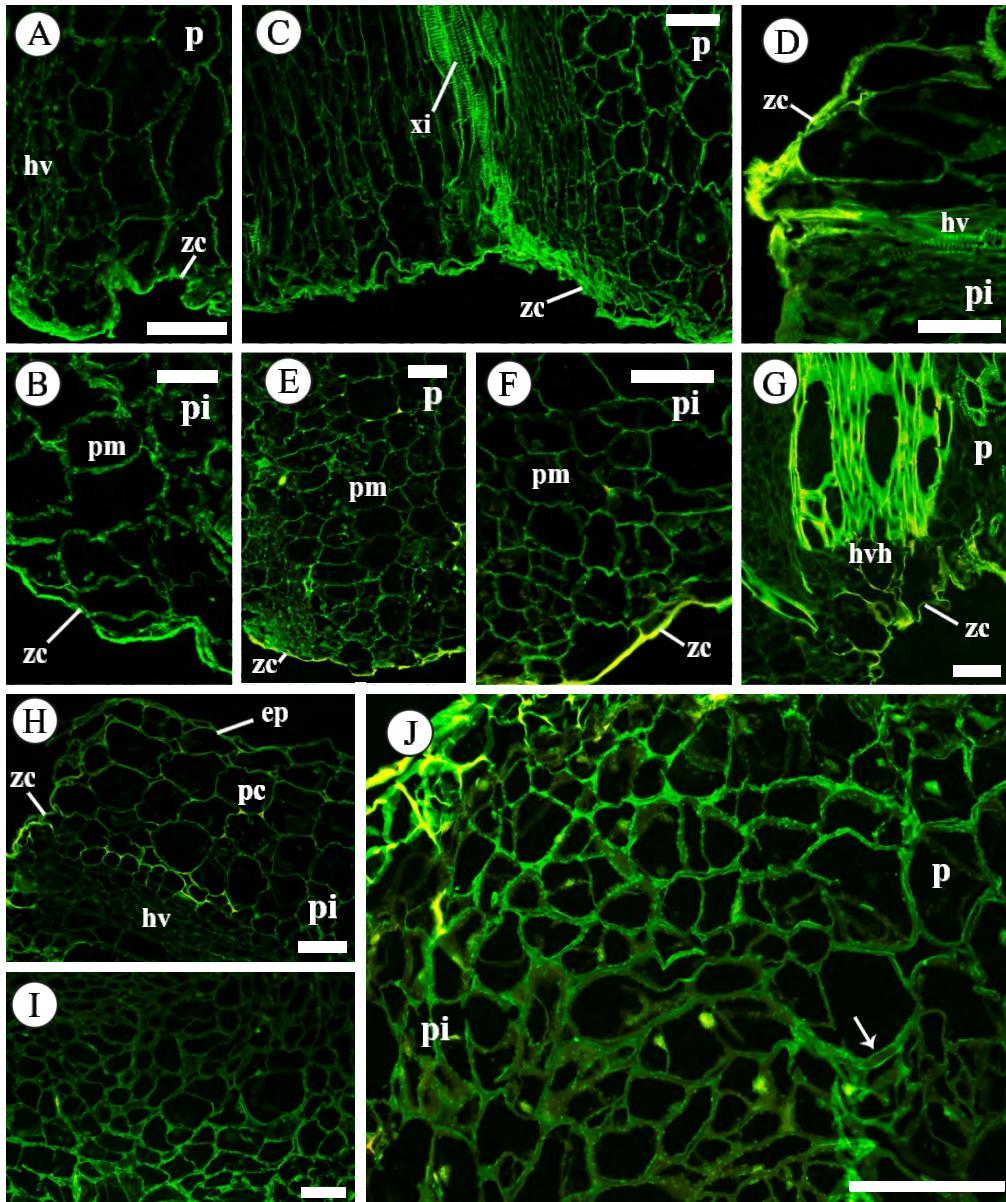


Figura 8. Distribución de homogalacturonano metilesterificado (marcaje con LM20) en el desarrollo del injerto. **A, B** 1 DPI. **C, D** 2 DPI. **E, F** 4 DPI. **G, H** 8 DPI. **I, J** 20 DPI. **A, C, E, G** Corte de la púa. **B, D, F, H** Corte del portainjerto. **A-H** Véase el marcaje en la zona de corte (*zc*). **C, D** Obsérvese la interrupción de los haces vasculares (*hv*) tras el corte. **B, E, F** Parénquima medular (*pm*) en la zona de corte. **G** Obsérvese el corte en el haz vascular de la púa y la proliferación de células por debajo del haz vascular herido (*hvh*). **H** Véase cómo, a diferencia de la púa, el haz vascular está cortado, pero no se aprecia proliferación de células; la formación del callo solo se observa en la púa. **I** Obsérvese el marcaje diferencial y gradual de la deposición de pectinas hacia la zona de unión a los 20 DPI. **J** Véase el marcaje de LM20 en la zona interior de la pared celular (flecha blanca). Además, véase también la distribución de LM20 en la zona de unión en el córtex. Barras = 100 μ m. Abreviaturas: *hv* haz vascular; *hvh* haz vascular herido; *p* púa; *pc* parénquima cortical; *pi* portainjerto; *pm* parénquima medular; *xi* xilema; *zc* zona de corte

Distribución de las pectinas en la pared celular

Se estudió detalladamente la distribución de las pectinas en las paredes celulares durante el injerto (**Fig. 9 A-J**). La unión de los anticuerpos LM19 (**Fig. 9 F**) y LM20 (**Fig. 9 G**) se produjo mayoritariamente en la cara interna de las paredes celulares, y en las zonas de unión entre tres células (**Fig. 9 C,G**). Fue llamativo el escaso marcaje que presentaron ambos anticuerpos en la lámina media (**Fig. 9 F,G,H**). A partir de la combinación de las fotos de calcoflúor y la fluorescencia asociada a los anticuerpos, se pudo apreciar mejor la irregularidad de la distribución del marcaje de los anticuerpos durante el desarrollo del injerto (**Fig. 9 A,B,C**). En la zona de corte, durante los primeros días del injerto (1-2 DPI) se apreció una tinción intensa con rojo de rutenio, que sugiere una fuerte deposición de pectinas (**Fig. 9 I**), parte de las cuales pertenecen a HG poco metilsterificado, ya que quedan marcadas con LM19 (**Fig. 9 D**). Una vez se estableció el injerto se observó una gran deposición de pectinas en la zona de unión (**Fig. 9 J**).

Discusión

La progresión del injerto es asimétrica, necesita la adhesión entre la púa y el portainjerto y finaliza con la reconexión vascular

En nuestro estudio se ha observado una respuesta asimétrica entre púa y portainjerto durante el desarrollo del injerto, tanto en la proliferación de las células del callo como en la diferenciación vascular, siendo siempre más pronunciada en la púa. Esta respuesta asimétrica tanto en la proliferación del callo como en la activación del meristemo vascular, está asociada a la acumulación de auxinas que se produce en la púa debido a que no pueden continuar transportándose hacia el cuello de la planta (Melnik, 2017).

Para que la unión de púa y portainjerto sea estable, se tiene que producir la formación y diferenciación de las células del callo (Sala *et al.*, 2019). En nuestro sistema experimental, la formación del callo comienza a ser visible a los 2 DPI, siendo abundante a los 8 DPI. A los 20 DPI la unión estaba establecida completamente. Estos tiempos coinciden con los descritos en otros trabajos (Moore, 1984; Frey *et al.*, 2020).

Las pectinas se encuentran asociadas con la pared celular

La presencia de pectinas se encuentra asociada a las paredes celulares, tanto en la tinción con rojo de rutenio como en el marcaje con anticuerpos (LM19 y LM20). Esto se debe a que las pectinas son componentes fundamentales de la

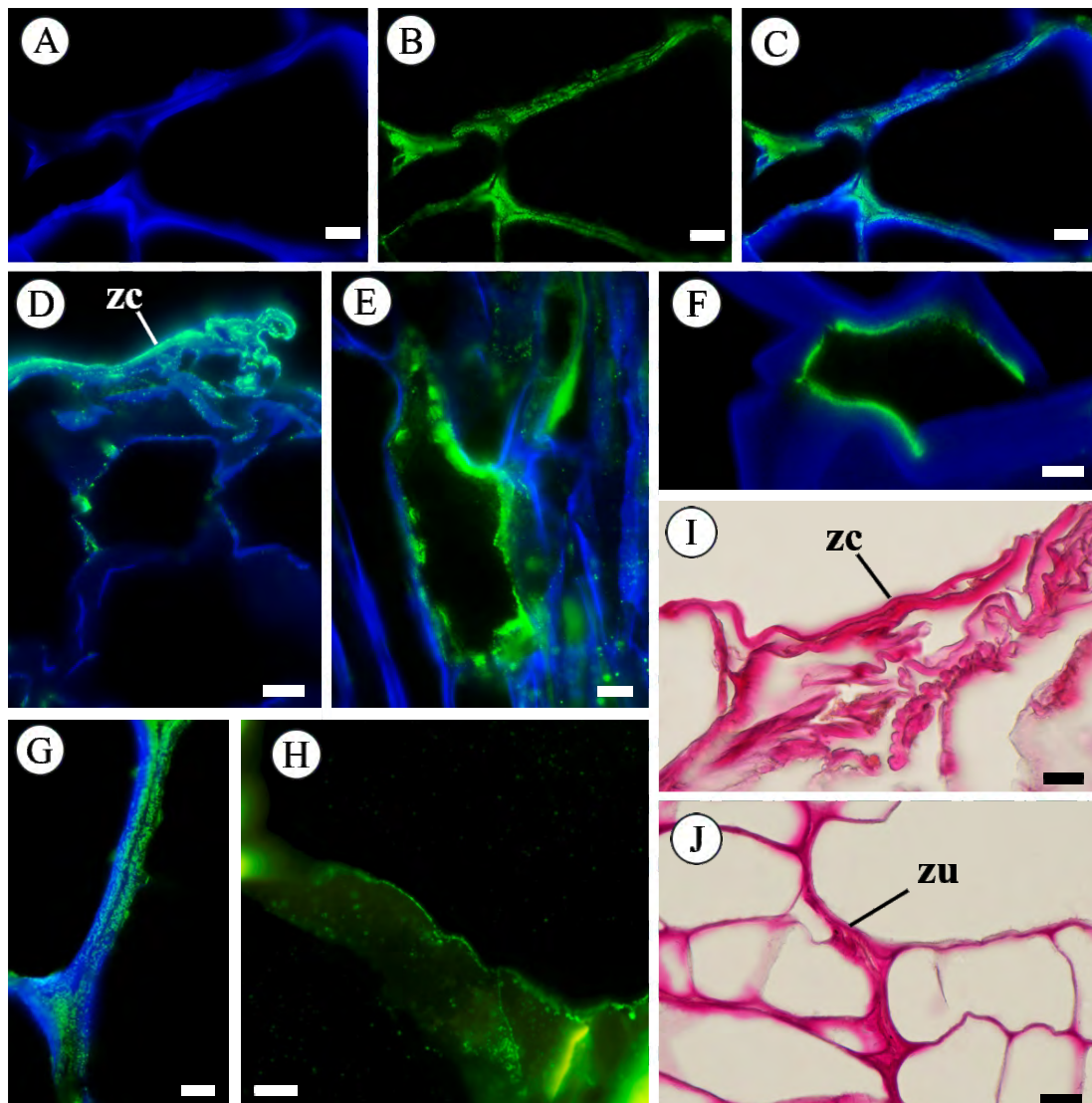


Figura 9. Distribución de las pectinas en la pared celular durante el desarrollo del injerto. **A, B, C, E, G, J** 20 DPI. **D** 1 DPI. **I** 2 DPI. **A, B, C** Secuencia para demostrar el proceso realizado en la composición de las imágenes obtenidas con calcoflúor (**A**), y anticuerpo -LM20 en este caso- (**B**), para originar la imagen combinada (merged) LM20 + calcoflúor (**C**), y observar la distribución de los anticuerpos en la pared celular. **D, E, F** LM19 + calcoflúor. **G** LM20 + calcoflúor. **H** LM20. **I, J** Rojo de rutenio. **D** Obsérvese la distribución asimétrica de LM19, siendo mayor en la zona de corte. **E** Véase la gran cantidad de marcaje con LM19 que hay en la zona de unión tras 20 DPI. **F, G, H** Obsérvese el marcaje en la cara interna de la pared celular, tanto con LM19 como con LM20. **I** Deposición de pectinas en la zona de corte de la púa a los 2 DPI. **J** Obsérvese la presencia de una gran cantidad de pectinas delineando la zona de unión tras 20 DPI. Barras: **A, B, C, D, F, G, I, J** = 10 μ m. **E, H** = 5 μ m. Abreviaturas: *zc* zona de corte; *zu* zona de unión

pared celular, en la que se encuentran formando geles hidratados que permiten la unión de las células en la capa adhesiva (Albersheim *et al.*, 2011).

Se produce un aumento progresivo de pectinas en la zona de corte durante el establecimiento del injerto

Es ampliamente reconocido que en la zona de corte se produce una deposición de pectinas, permitiendo la adhesión entre púa y portainjerto (Moore, 1984; Pina *et al.*, 2012; Melnyk y Meyerowitz, 2015; Frey *et al.*, 2020), pero hay escasa información sobre la secuencia de cambios asociados a estas pectinas durante el desarrollo del injerto. En el estudio de la distribución general de pectinas a partir de la tinción de rojo de rutenio, encontramos un aumento de estos polisacáridos en la zona de corte a medida que avanzan los días post injerto, coincidiendo con lo que se conoce hasta la fecha (Moore, 1984; Pina *et al.*, 2012; Frey *et al.*, 2020). Además, como cabría esperar, también se ha producido un aumento de la deposición de HG en la zona de corte durante el desarrollo del injerto. Este ha sido detectado por un aumento progresivo del marcaje de LM19 y LM20 en la zona de corte. Se ha apreciado mayor cantidad de HG poco metilesterificado y no metilesterificado (detectado con LM19), mientras que el HG metilesterificado (LM20) era menos abundante. Esto coincide con lo descrito en injertos de *Arabidopsis*, donde en la zona de unión del injerto se observó abundante marcaje de LM19; mientras que el LM20 se encontró de forma menos notable (Sala *et al.*, 2019).

LM19 y LM20 se unen a las caras internas de las paredes celulares y están prácticamente ausentes en la lámina media

El HG no metilesterificado suele encontrarse mayoritariamente en la lámina media y en las esquinas celulares, mientras que las pectinas esterificadas suelen estar presentes en las zonas más internas y externas de la pared celular, rodeando la red de celulosa-hemicelulosa (Albersheim *et al.*, 2011). Sin embargo, cuando estudiamos en detalle la disposición de LM19 en la pared celular en nuestros injertos de tomate, apreciamos cómo este –al contrario de lo que cabría esperar– se encontró asociado a la zona interna de las paredes celulares y apenas estaba presente en la lámina media. Sin embargo, sí se encontró en las esquinas celulares. Encontramos el mismo patrón cuando observamos la disposición de LM20 en las paredes celulares. Es posible que la detección de HG en la cara interna de la pared celular sea consecuencia de su rápida biosíntesis y deposición tras el injerto.

Perspectivas de futuro

Nuestro estudio ha demostrado que la combinación de técnicas de tinción con rojo de rutenio y de técnicas de inmunohistoquímica utilizando los anticuerpos monoclonales LM19 y LM20 permite seguir la evolución de los cambios que se producen en las pectinas de las paredes celulares en la zona de unión a lo largo del desarrollo del injerto. Nuestros resultados permiten hipotetizar que los injertos no funcionales, al menos en parte, estarán asociados a una anómala deposición de materiales de la pared celular, en particular de HG muy metilesterificado y/o su desesterificación en la pared celular.

Conclusiones

La distribución de pectinas durante el desarrollo del injerto indicó una acumulación progresiva de estos polisacáridos en la zona de corte, tanto en la púa como en el portainjerto, finalizando con una notable deposición de pectinas en la zona de unión. Se observó una asimetría en la distribución del homogalacturonano poco metilesterificado y no metilesterificado, siendo muy abundante en la zona de unión. Además, el homogalacturonano –tanto poco como muy metilesterificado– se encontró asociado a la cara interna de la pared celular y a las esquinas celulares, estando prácticamente ausente en la lámina media.

Bibliografía

- Albersheim, P., Darvill, A., Roberts, K., Sederoff, R. y Staehelin, A. 2011. Plant cell walls. Nueva York: Garland Science
- Frey, C. 2018. Caracterización histológica en injertos funcionales y no funcionales de tomate. Trabajo Fin de Grado. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León
- Frey, C., Acebes, J. L., Encina, A., y Álvarez, R. 2020. Histological changes associated with the graft union development in tomato. *Plants* 9:1479
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T. y Geneve, R. L. 2018. Plant propagation: Principles and practices. 9.a ed. Nueva Jersey: Pearson
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L. y Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation, *Scientia Horticulturae*, 127(2):93-105
- Melnyk, C. W. 2017. Plant grafting: insights into tissue regeneration, *Regeneration*, 4(1):3-14
- Melnyk, C. W. y Meyerowitz, E. M. 2015. Plant grafting, *Current Biology*, 25(5):183-188
- Moore, R. 1984. Graft formation in *Solanum pennellii* (Solanaceae), *Plant Cell Reports*, 3(5):172-175



- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S. y Goldschmidt, E. E. 2009. A history of grafting, *Horticultural Reviews*, 35:437-493
- Pina, A., Errea, P. y Martens, H. J. 2012. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp., *Scientia Horticulturae*, 143:144-150
- Sala, K., Karcz, J., Rypień, A. y Kurczyńska, E. U. 2019. Unmethyl-esterified homogalacturonan and extensins seal *Arabidopsis* graft union, *BMC Plant Biology*, 19:151
- Verherbruggen, Y., Marcus, S. E., Haeger, A., Ordaz-Ortiz, J. J. y Knox, J. P. 2009. An extended set of monoclonal antibodies to pectic homogalacturonan, *Carbohydrate Research*, 344:1858-1862

La conservación preventiva de los bienes culturales

Paolo Mandrioli

Istituto di Scienze dell'Atmosfera del Clima, Consiglio Nazionale delle Ricerche,
Via Gobetti 102, I-40129. Bologna.

e-mail: p.mandrioli@isac.cnr.it

Resumen

La finalidad de la investigación aplicada a la conservación de los bienes culturales es valorar los riesgos de alteración de los materiales de interés histórico-artístico y arqueológico, provocados por organismos transportados a través del aire. Según el tipo de manufacturados y de las condiciones microclimáticas y de contaminación de los ambientes donde se conservan, las esporas y numerosos microorganismos aerotransportados pueden desarrollarse sobre diversas matrices y constituir un elemento de degradación. La valoración cualitativa y cuantitativa del bioaerosol, llevada a cabo mediante campañas de análisis específicos y teniendo en cuenta las características de los materiales y del ambiente, contribuyen a definir la situación de riesgo real de las obras de arte y proporcionan indicadores indispensables para realizar las oportunas intervenciones.

Palabras clave: aerobiología, conservación preventiva, deterioro biológico, patrimonio cultural.

Introducción

La relación entre disciplinas científicas y humanísticas, especialmente en sectores como la conservación del “Patrimonio cultural”, ha producido en las últimas cinco décadas una gran cantidad de bibliografía, sobre diversos aspectos relacionados con el diagnóstico de la alteración de los bienes culturales y con los problemas que se plantean a la hora de mejorar su conservación.

En muchas ocasiones se confunden los términos 'conservación' y 'restauración', pero al hablar de ambos, se hace referencia al concepto de integridad, entendido como “*conciencia del doble aspecto que caracteriza al bien cultural material*”, a saber, la materia que constituye un objeto y la información que transmite ese objeto (EN Normas europeas CEN/TC 346, 2020).

El significado atribuido a los términos 'conservación' y 'restauración' varía considerablemente en el área anglosajona y en el área latina. En la primera, el término más utilizado es el de 'conservación', que es el conjunto de acciones que se realizan sobre la propiedad y/o su entorno circundante, mientras que la 'restauración' es un momento opcional de conservación, que tiene como objetivo su mejora estética y no la transmisión temporal del hallazgo.

Forma de mencionar este artículo: Mandrioli, P. 2020, La conservación preventiva de los bienes culturales. *AmbioCiencias*, 18, 57-70. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

En el área latina, el término 'restauración' es más utilizado porque está ligado a profundas raíces históricas aunque, como indica Brandi (1963) en su *Teoría del restauro*, la restauración se define como *el momento metodológico de reconocimiento de la obra de arte, en su consistencia física y su bipolaridad estética e histórica, de cara a ser transmitida al futuro*, introduciendo la noción moderna de conservación.

En la realidad, los términos conservación y restauración están, a veces, estrechamente relacionados y por esta razón ha aparecido recientemente el término 'conservación-restauración', útil para eliminar la ambigüedad y fácilmente traducible a muchos idiomas.

De hecho, el alcance de la conservación se diferencia en dos sectores:

- *conservación curativa*, cuyos medios actúan directamente sobre el hallazgo;
- *conservación preventiva*, que tiene como objetivo proteger el artefacto, no actuando directamente sobre él, sino interviniendo en el entorno circundante.

Por lo tanto, la conservación preventiva tiene como objetivo minimizar y, si es posible estabilizar, el avance del deterioro del patrimonio artístico y cultural, ya que dicho deterioro, como la vida misma, es un proceso imparable, espontáneo y continuo. La práctica de la conservación preventiva presenta una perspectiva amplia y racional y una noción compleja de conservación, que implica el control de factores ambientales físicos, químicos y biológicos como: luz, calor, temperatura, humedad, movimiento del aire, polvo, contaminantes gaseosos y componentes bióticos.

Para llevar a cabo dicha conservación, además del profundo conocimiento de los materiales que se han usado en los bienes artísticos más frecuentes (papel, telas, cuero, bronce, pinturas, etc.), se requiere de un estudio profundo del ambiente que les rodea o en el que se encuentran dichos objetos.

Así, los científicos que trabajan en el sector de la conservación deben tener un buen conocimiento de los procesos físico-químicos que regulan ambientes de interior y exterior, especialmente los factores implicados en la dispersión de partículas en la atmósfera así como su deposición, además de conocer nociones de botánica, entomología, microbiología y biología molecular.

Bioaerosoles y deterioro del patrimonio cultural

Los aerosoles de origen biológico (células, fracciones de células o materia orgánica de origen animal, vegetal o microbiano) constituyen una porción significativa de los aerosoles atmosféricos, alcanzando a veces casi el 50% de todo el

material particulado, o lo que viene a ser lo mismo, la parte biológica representa entre el 25% y el 40% en peso del material aerodisperso.

El bioaerosol es conocido también como “aerosol biológico primario” (PBAP). En el PBAP PM₁₀, las esporas de hongos forman el componente principal, pero también abundan los granos de polen, fragmentos de plantas y ciertas algas unicelulares. Durante el invierno (en las regiones templadas), la concentración de PBAP en la atmósfera es muy reducida, ya que la actividad metabólica de la vegetación no supera el 5%.

Por lo tanto, la aerobiología se puede aplicar a la conservación de los bienes culturales porque analiza el origen de las fuentes de producción de partículas y su dispersión, así como la deposición y los efectos que, el material vivo presente en el aire, puede ejercer en dichos bienes (Mandrioli, 2003).

Degradación por parámetros ambientales

Los parámetros ambientales que controlan el inicio de los procesos de biodeterioro son el agua, el calor, la luz y el sustrato. En ausencia de agua, bajo forma de vapor o líquida, las funciones vitales de los organismos se inhiben, incluso para cualquier valor de temperatura y para cualquier tipo de sustrato. El sustrato puede recibir agua por capilaridad, higroscopia o por condensación del vapor del ambiente. Un microorganismo crece y se reproduce, utilizando el agua que esté disponible en el sustrato en el cual vive. En el caso de los objetos, el agua disponible viene regulada exclusivamente por los ciclos de evaporación y condensación sobre su superficie, que condicionarán el éxito de la colonización por parte de microorganismos presentes.

Un parámetro, generalmente calculado, que permite conocer si sobre una superficie existe condensación o evaporación de agua, es la temperatura de rocío, cuyo valor depende de la temperatura y de la humedad relativa del aire. En la práctica, los microorganismos que están colonizando un sustrato, tendrán más disponibilidad de agua de la prevista según el cálculo de la temperatura de rocío, ya que la porosidad del sustrato puede modificar sensiblemente su capacidad de retención de agua. La presencia de microporos de dimensiones comprendidas entre 0,001 y 0,01 m permite una reserva de agua añadida, debido a la tensión superficial. La lucha contra la colonización microbiana, se puede conseguir disminuyendo los valores de humedad relativa del ambiente, pero sobre todo controlando la diferencia de homogeneidad térmica de las superficies (objetos, paredes, estructuras...). Por otra parte, una disminución excesiva de la humedad relativa del aire, puede provocar daños en algunos materiales, al modificar el volumen de las estructuras en cuestión.

Los diferentes mecanismos de deposición de las partículas biológicas afectan a su presencia sobre las superficies. Es decir, si las partículas tienen una dimensión comprendida entre 0,001 y 0,01 m, la eficiencia de la deposición es muy baja, mientras aumenta notablemente para aquellas con un intervalo de 0,1 a 10 m, ya que intervienen otros factores: el llamado *efecto Stefan* (transporte a través de procesos de evaporación-condensación), gravitacional (mayor densidad respecto al aire), electroforesis (carga eléctrica) y aerodinámicos (impacto). A través de los mismos, la deposición puede ocurrir en cualquier superficie, independientemente de la orientación (excepto la deposición gravitacional).

Deterioro biológico

El biodeterioro es descrito y analizado en términos dinámicos, igual que se analizan las comunidades de seres vivos, iniciándose con el reconocimiento de los organismos presentes y de sus modelos estructurales y funcionales, para llegar al muestreo y a la definición de las intervenciones que se deben efectuar. En definitiva, es imposible hablar de bienes culturales y biodeterioro sin mencionar el paisaje, entendido como la integración entre los componentes naturales y antrópicos.

El término 'biodeterioro' se debe a Hueck (1965), que lo definió por primera vez como “*cualquier cambio no deseado en las propiedades de un material, provocado por la actividad vital de organismos*”. El grado del cambio puede ser muy diverso, desde la disgregación y transformación irreversible del sustrato, hasta una presencia poco deseada de organismos, pero sin importantes consecuencias para el material (daño estético). Por 'biodeteriogenos' se entiende los microorganismos o los organismos que causan daño a los materiales.

En el ámbito de los bienes culturales se emplea el término de biodeterioro en lugar de biodegradación, ya que éste último por norma se refiere a los procesos biológicos mediante los cuales se produce la descomposición de macromoléculas orgánicas.

Para comprender los procesos de biodeterioro es necesario recordar que la colonización biológica de un material puede implicar:

- el uso del sustrato como fuente nutricional o
- el uso del material únicamente como soporte para el propio desarrollo.

Por lo tanto, para estudiar los procesos de biodeterioro hay que tener en cuenta la naturaleza química de los materiales, diferenciando entre materiales orgánicos e inorgánicos. En general, cuando se debe trabajar con fenómenos de degradación causados por el desarrollo de poblaciones biológicas, hay que tener

en consideración los daños objetivos, debidos a procesos físico-químicos unidos a su crecimiento. Hay que señalar también que una primera colonización biológica, aunque no cause muchos daños, no solo debe ser considerada como un daño estético, sino que puede favorecer el ataque de otras especies más agresivas.

Todos estos procesos llevan implícitas transformaciones como producción de ácidos inorgánicos y orgánicos, enzimas, pigmentos, etc. (Mandrioli, 1998). Entre los más relevantes cabe citar el complejo de las celulasas, enzimas hidrolíticas necesarias para la degradación de la celulosa, capaces de degradar el papel, la madera y derivados, así como tejidos de origen vegetal; o las enzimas proteolíticas capaces de atacar pergaminos y cueros; además de otras enzimas específicas que degradan los taninos de las tintas. Lo mismo ocurre con distintos tipos de ácidos liberados durante el metabolismo de ciertos microorganismos y organismos, que determinan alteraciones en numerosas obras de arte.

Resulta imprescindible el conocimiento sistemático y taxonómico de los distintos organismos vivos implicados en el biodeterioro. Este conocimiento sigue siendo limitado, especialmente en el caso de bacterias y hongos (**Fig. 1 A, B**), ya que es muy difícil la caracterización morfológica de muchas especies, así como su determinación precisa, que muchas veces sólo se puede realizar mediante técnicas bioquímicas y biomoleculares.



Figura 1. A) Pátinas marrones de cianobacterias; **B)** manchas rojas de *Trichoderma* sp. en un grabado

La monitorización ambiental

La monitorización ambiental es el instrumento primario que permite la caracterización cuantitativa del ambiente y del estado de las obras de arte bajo dos aspectos: a) análisis y control de las condiciones ambientales; b) control de las causas que provocan el deterioro de los materiales y de los objetos.

Como hemos dicho previamente, antes de la monitorización, es necesario el conocimiento de los principales procesos que regulan la interacción entre los materiales y el ambiente circundante (físico, químico y biológico). Por ello, la monitorización ambiental pone en evidencia, cuantitativamente e independientemente de la escala espacial, la constante relación que existe entre ambientes contiguos, como por ejemplo: el interior de una vitrina y la sala; la sala y el edificio; el edificio y el ambiente externo (Mandrioli, 2007).

El conocimiento y la elección de los instrumentos de medida son la condición imprescindible para realizar la monitorización y en consecuencia la conservación preventiva.

La medida de un parámetro específico se puede realizar con instrumentos diferentes, que se eligen según el tipo, la precisión, la complejidad y, por qué no, el costo. La tecnología actual está orientada a ofertar instrumentación que simplifique el uso y aumente la calidad de las medidas.

Las medidas ocasionales no permiten caracterizar un ambiente, sino solo las condiciones que existen en el momento de la toma de datos; por eso la monitorización se convierte en instrumento diagnóstico, sólo mediante la continuidad de los muestreos en el tiempo.

La monitorización y el análisis de la evolución de los parámetros ambientales también permiten la previsión de eventos a corto y medio plazo. Por ejemplo, en la **Figura 2**, se puede observar la tendencia de la temperatura de condensación del vapor atmosférico (temperatura de rocío) que se ha usado para predecir la activación o no de los sistemas de protección de los frescos o de las pinturas de una pared.

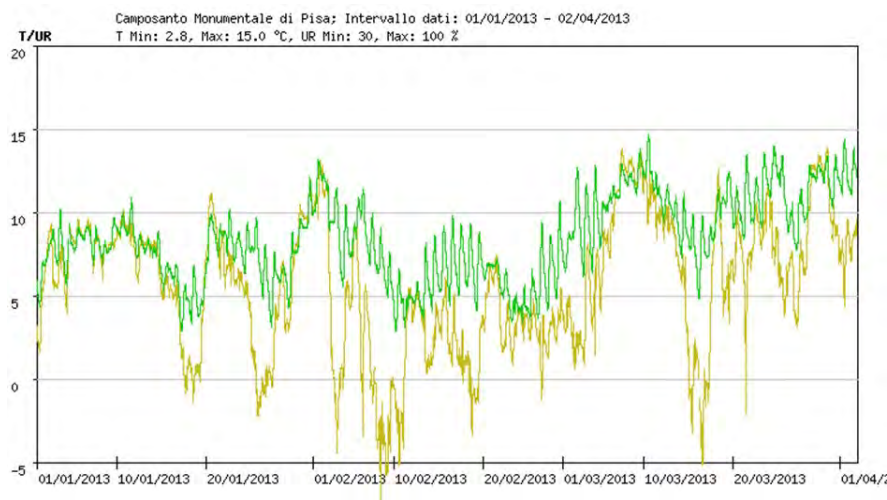


Figura 2. Temperatura de la superficie de un fresco (verde) y temperatura de rocío calculada (amarillo)

La continuidad de la monitorización es una condición necesaria para disponer de una base de datos suficientemente larga en el tiempo, que permita la correcta interpretación de la evolución de los parámetros medidos; por lo tanto, se debe evitar la interrupción de las medidas.

La elección de las estrategias de monitorización está centrada en las estructuras (desde tecas que contienen objetos valiosos, hasta edificios y grandes áreas), períodos de tiempo: de muestreo (aleatorio, estacional, anual o continuo), métodos (instrumentación manual, automático local o automático remoto). Actualmente, la flexibilidad de la instrumentación electrónica permite la modificación, sobre la marcha, de nuestro proyecto de monitorización, sin invalidar las medidas ya realizadas.

Para monitorizar los bienes culturales, se deben elegir los puntos claves o condiciones ambientales donde se ubican dichos bienes y para ello se usan redes, que reagrupan en una sola base de datos todas las medidas realizadas, que serán en número necesario y suficiente para caracterizar dicho ambiente (**Fig. 3**).

En definitiva, la monitorización del medio ambiente, sea microclimático, químico o biológico, permite la interacción directa o indirecta con los sistemas de control (calefacción, refrigeración, iluminación, etc.), diseñados para controlar los valores de los parámetros monitorizados. La experiencia demuestra que, si existe interés y colaboración, estos objetivos se pueden alcanzar sin dificultad.

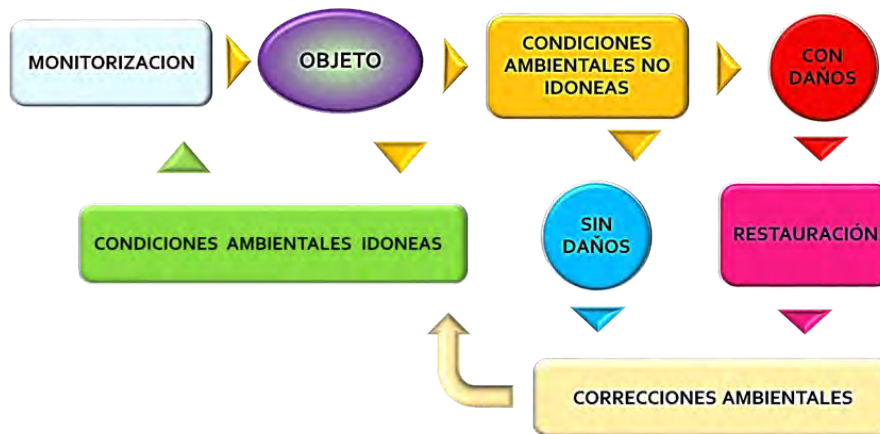


Figura 3. Modelo de conservación preventiva

Casos de estudio

Los frescos del Camposanto monumental de Pisa

La construcción del Camposanto, un claustro rectangular de 120 x 40 metros de estilo gótico floral, comenzó en 1278 y se completó en 1464. Los frescos del Camposanto se iniciaron en 1333 con la Crucifixión, de Francesco Traini y finalizaron con la Historia del Antiguo Testamento, de Benozzo Gozzoli pintada

más de un siglo después, en el 1484. El Laboratorio fotográfico Fratelli Alinari de Florencia, documentó los frescos de las cuatro galerías del Camposanto entre finales del '800 e inicio del '900, casi 2500 m² de frescos.

El 27 de julio de 1944, un fragmento de bomba de un ataque aéreo “aliado” provocó un incendio que, no pudiendo ser apagado a tiempo, destruyó el tejado del Camposanto cubierto de plomo, que colapsó y ocasionó grandes daños a todos los frescos de las paredes. En las imágenes (**Fig. 4 A, B**), el área en rojo identifica el mismo grupo de frescos que fueron dañados y restaurados 70 años después.

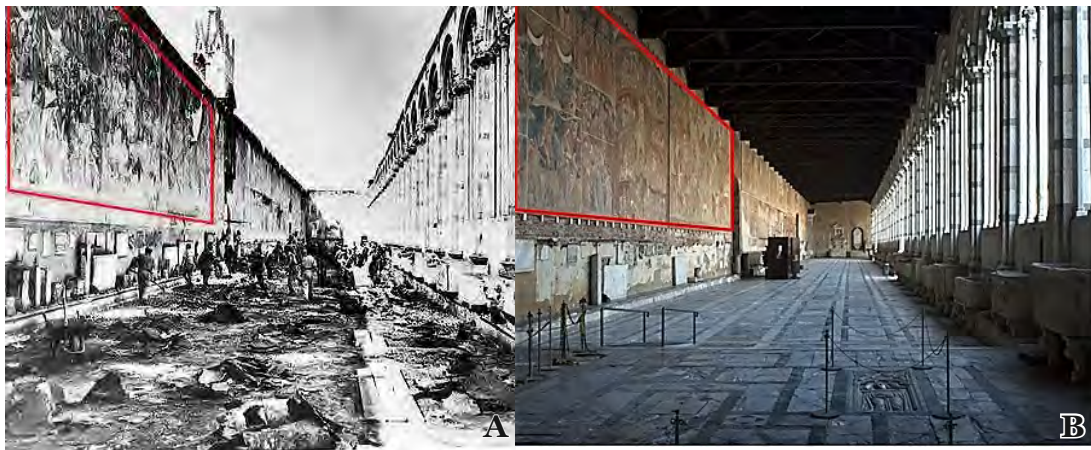


Figura 4. Camposanto monumental de Pisa: **A)** septiembre de 1944, foto de lado sur de la entrada; **B)** marzo de 2017: finalización de la restauración de los frescos e instalación en la pared original

En el año 2008 se presentó un "Proyecto de Restauración Integral", cuyas pautas se orientaron hacia los métodos de conservación que debían adoptarse, para reubicar en las paredes los frescos dañados durante el bombardeo. El proyecto requirió de un gran esfuerzo logístico y económico, para poder recuperar y reentelar los frescos sobre nuevos soportes (**Fig.5 A, B, C**), con la monitorización continua del microclima del Camposanto (**Fig. 6**) y con un sistema complejo para proteger los frescos de la condensación de vapor de agua y de la deposición de polvo fino.

Para limpiar la superficie de los frescos se utilizó una técnica microbiológica que emplea bacterias (*Pseudomonas stutzeri*) genéticamente modificadas, capaces de eliminar la caseína y la cola (gelatinas de peces), muy utilizadas en restauraciones anteriores, antiguas y recientes (Ranalli *et al.* 2018).



Figura 5. A) nuevo método de reentelado de los frescos; B) aplicación de la suspensión acuosa de *Pseudomonas stutzeri*; C) el resultado de la limpieza con bacterias es visible en el lado izquierdo de la superficie del “strappo”

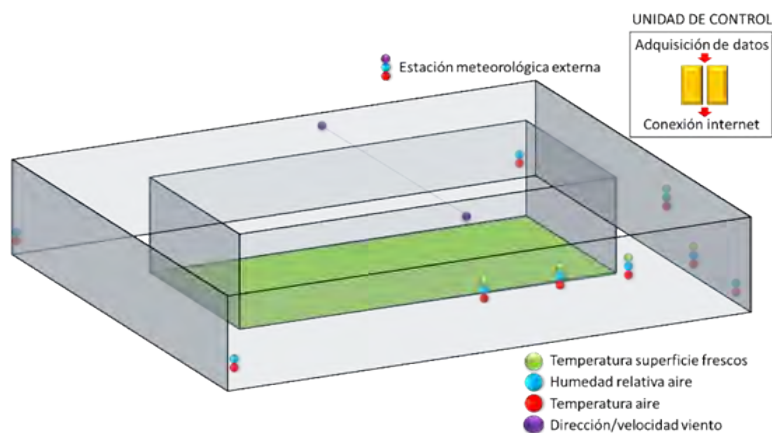


Figura 6. Camposanto, red de monitorización microclimática mediante wifi e intranet

La solución adoptada para defender los frescos de la condensación y del polvo, en apariencia simple, fue la de calentar el lado posterior del panel sobre el cual están fijados los mismos (Fig. 7).

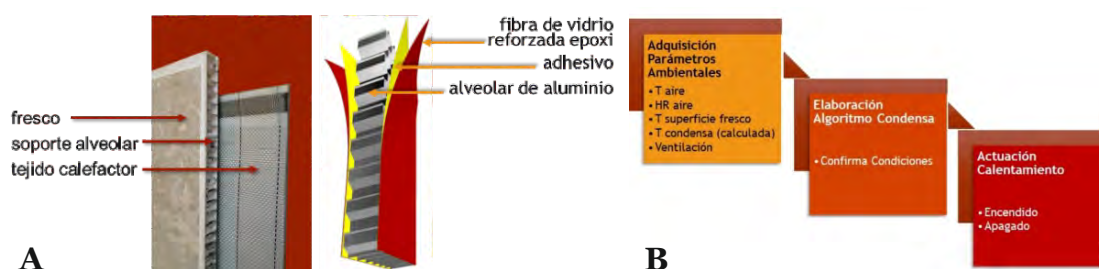


Figura 7. A) El tejido calefactor calienta el soporte del fresco reentelado; B) Algoritmo anti-condensación

El tejido calefactor es un tejido especial compuesto de fibras de poliéster y fibras de carbono como resistencia eléctrica (Fig. 7A). La actuación del sistema de calefacción ocurre a través del procesamiento en tiempo real de los datos obtenidos mediante la red permanente de sensores *wireless* ambientales y un algoritmo anti-condensación (Fig. 7B). En el Camposanto se realizaron: a) la fija-

ción del panel a la estructura metálica, b) la instalación de sensores de temperatura de superficie, c) la elevación del panel para el anclaje a la pared. Cada escena se compone de numerosos “strappi” (**Fig. 8**).

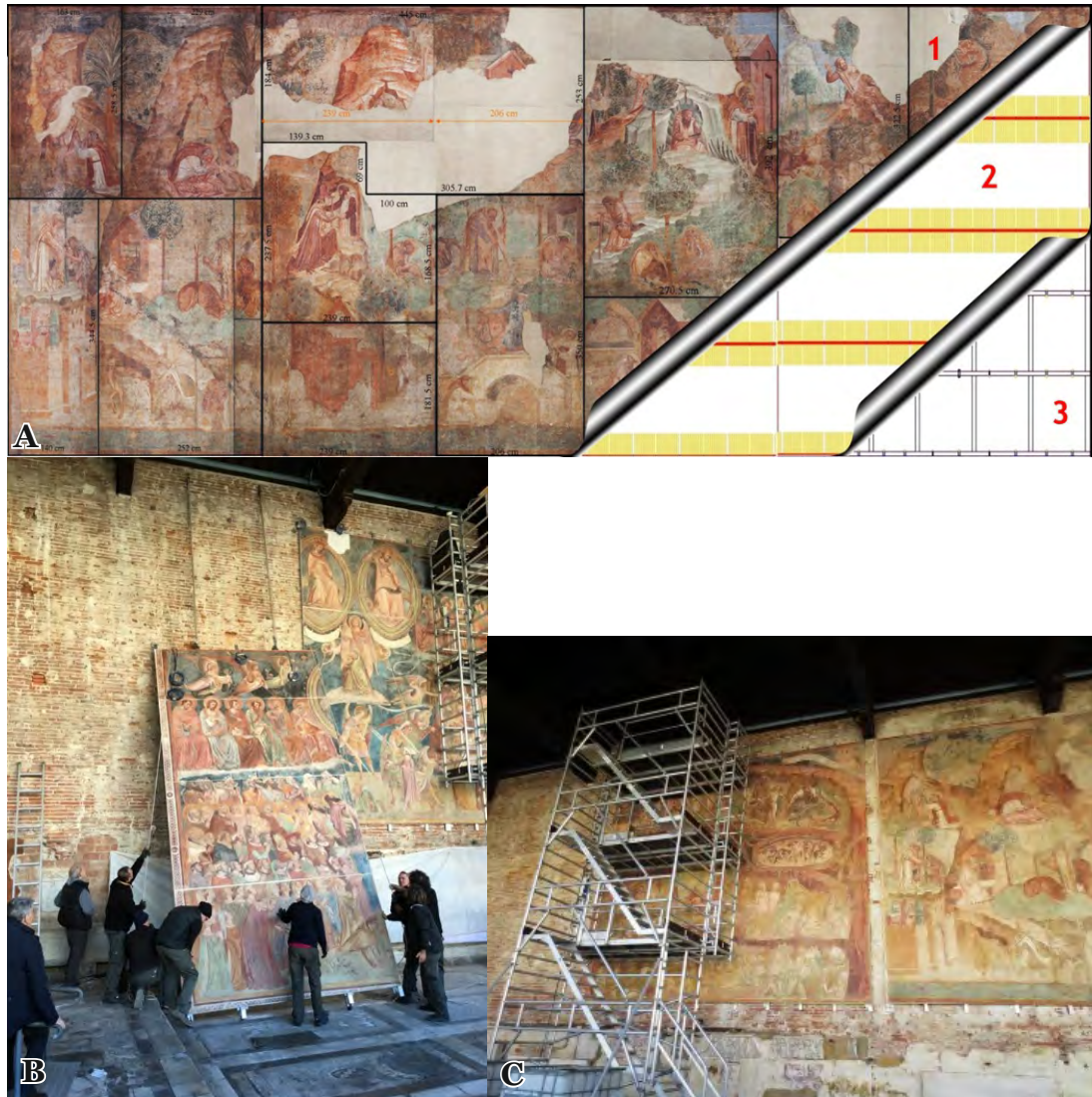


Figura 8. Procedimiento para instalar piezas de una escena en la pared: **A)** 1 strappo reentelado, 2 tejido calefactor, 3 estructura metálica; **B)** anclaje a la pared; **C)** andamio móvil para finalizar la restauración

El control periódico para la eficiencia del calentamiento se realiza con medidas termográficas con una precisión de una décima de grado (**Fig. 9**).

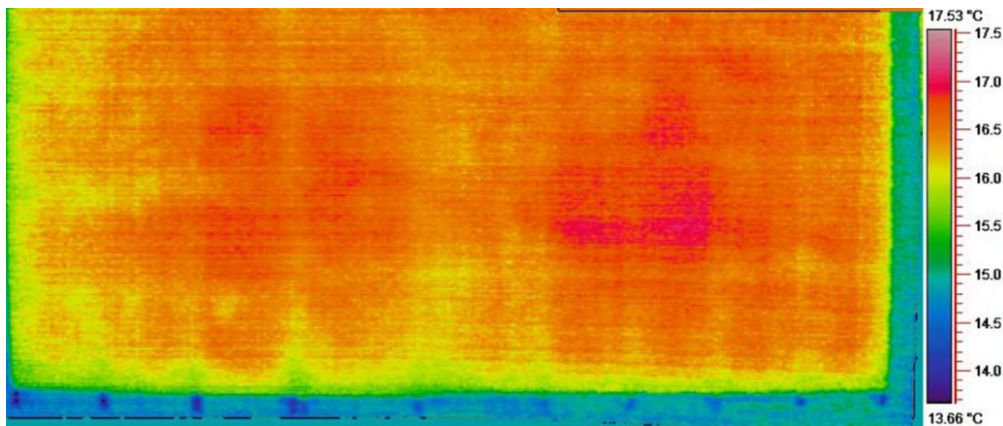


Figura 9. Termografía del cuarto de la parte inferior derecha de una escena. El borde azul corresponde a la estructura metálica perimetral. A la derecha, la escala de temperatura/colores.

El 6 de junio de 2018, una vez finalizada la restauración del “*Triunfo de la muerte*” (40 x 9 m²) de Buonamico Buffalmacco, el proyecto concluyó con el regreso de todos los frescos a las paredes del Camposanto (**Fig. 10**).



Figura 10. Reposición en la pared del último fresco restaurado

La Capilla Sixtina

La necesidad de crear una red de monitorización microclimática en la Capilla Sixtina surgió en el año 2010, durante una campaña llevada a cabo para desempolvar las pinturas murales (**Fig. 11 A**), en la cual se constató la existencia de un depósito visible de partículas en la superficie de las mismas, así como algunas incipientes “manchas blancas”.

Se planteó el problema de valorar si el sistema de climatización y recambio del aire, usado desde 1993, era todavía eficaz y capaz de garantizar las

condiciones idóneas para conservar las pinturas murales. De hecho, desde entonces el número de visitantes había aumentado enormemente, superando en el 2011 la cifra de los cinco millones anuales y, con frecuencia, los 20.000 diarios.

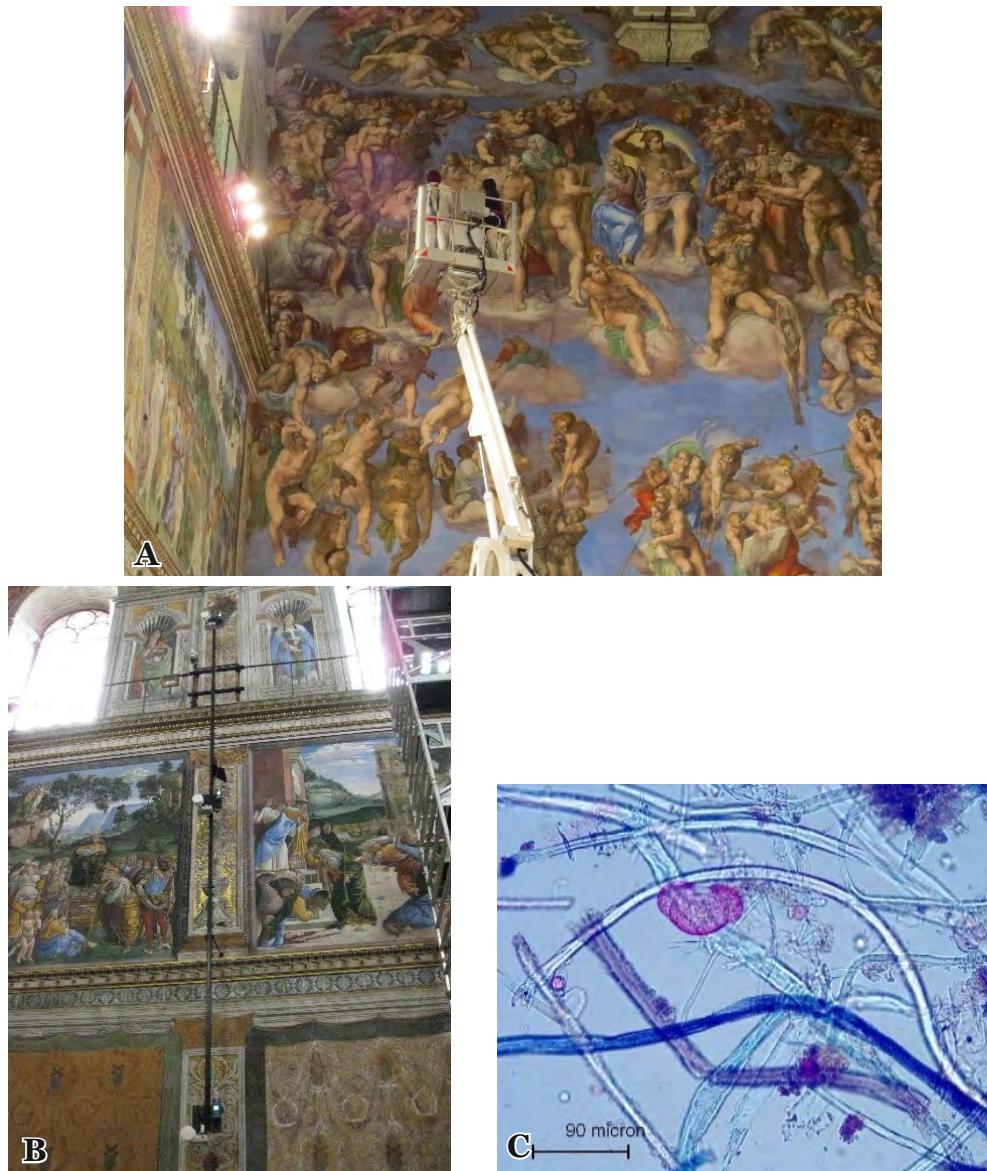


Figura 11. Capilla Sixtina. **A)** Operación para desempolvar los frescos; **B)** instalación temporal de sensores de temperatura, humedad relativa, polvo, dióxido de carbono; **C)** material particulado aerodisperso: polen, esporas, pelos vegetales y fibras sintéticas y naturales.

La exigencia de comprender cada aspecto de la calidad y del movimiento del aire llevó a la creación de un red de monitorización (**Fig. 11 B**) para controlar de forma continua los siguientes parámetros: temperatura del aire, humedad

relativa del aire, temperatura de la superficie en las paredes o punto de rocío, tipo de estratificación aérea del CO₂; análisis del polvo (**Fig. 11c**) presente a distintas alturas; y dirección y velocidad del flujo del aire de entrada y salida de la Capilla (Mandrioli, 2015), todo ello relacionándolo con la cantidad de personas presentes al mismo tiempo en el recinto. Es sabido que la presencia de público (**Fig. 12**) no sólo aporta un incremento de calor y de humedad, sino que también constituye un vehículo de ingreso de contaminantes sólidos o en forma de gas, además de la gran producción de CO₂, debida a la respiración humana.



Figura 12. Afluencia de visitantes en la Capilla Sixtina

El largo y complejo estudio, finalizado en 2020, ha permitido definir unas líneas guía y desarrollar propuestas técnicas adaptadas al entorno, que consistieron básicamente en la implantación de nuevos sistemas de iluminación y de intercambio de aire y en llevar a cabo campañas de limpieza del polvo y control de las superficies con cadencia bianual.

Bibliografía

- Brandi, C. 1963. *Teoria del restauro*, pp.164. Edizioni di Storia e Letteratura, Roma, Italia
- Hueck H.J. 1965. The biodeterioration of materials as a part of Hylobiology. *Mater Organismen* 1: 5-34
- Mandrioli, P. 1998. Metodi di analisi della componente biologica dell'aria. En *Aerobiologia e Beni Culturali, metodologie e tecniche di misura*, cap. 6, 161-189. Editori P. Mandrioli e G. Caneva, Nardini Editore, Firenze

- Mandrioli, P. 2003. Methods and techniques of aerobiological survey. En *Cultural Heritage And Aerobiology: Methods and measurement techniques for Biodeterioration Monitoring*, chap. 6, 161-189. Editors: P. Mandrioli, G. Caneva and C. Sabbioni, Kluwer Academic Publishers
- Mandrioli, P. 2007. Capitoli 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. En *Oggetti nel tempo. Principi e tecniche di conservazione preventiva*. Istituto Beni Culturali, Collana ER musei e territorio. Materiali e ricerche n. 7, pp. 258; Editore CLUEB, Bologna
- Mandrioli, P. 2015. The importance of the environmental parameters for the conservation of mural paintings. The Sistine Chapel environment. En *The Sistine Chapel, twenty years later. New breath new light*. pp 119-133, Eds. Musei Vaticani, Città del Vaticano
- Ranalli, G., Zanardini, E., Andreotti, A., Colombini, M.P., Corti, C., Bosch-Roig, P., De Nuntiis, P., Lustrato, G., Mandrioli, P., Rampazzi, L., Giantomassi, C. y Zari, D. 2018. Hi-tech restoration by two-steps biocleaning process of Triumph of Death fresco at the Camposanto Monumental Cemetery (Pisa, Italy). *Journal of Applied Microbiology* 125: 800-812
- EN Normas europeas CEN/TC 346 - Conservation of Cultural Heritage. Disponible en: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:32:0::: FSP_ORG_ID:411453&cs=11079A55D70F8377E3942E1C6704C7664

BAÚL DE LA CIENCIA

Contribución al desarrollo de la piscicultura continental de aguas cálidas en el sur de Venezuela

Luis Eduardo Pérez Álvarez

Resumen

Se describen los proyectos de I+D de piscicultura continental de aguas cálidas desarrollados bajo la responsabilidad del autor durante tres décadas de trabajo en diversos cuerpos de agua como embalses hidroeléctricos, microembalses de uso agrícola, ríos regulados y estanques, situados en la cuenca del Orinoco al Sur de Venezuela y se ponen en contexto las características de todos ellos. Se trabajó en todos los casos con peces de los géneros *Colossoma* y *Piaractus* y con el híbrido resultante de su cruce. En general se persiguió el objetivo de proveer proteína de buena calidad para la alimentación de campesinos, ganaderos, indígenas y habitantes urbanos de escasos recursos, así como ingresos complementarios que mejorasen la economía familiar. Los proyectos fueron ejecutados principalmente en los embalses hidroeléctricos del río Caroní, sobre todo en el de Macagua, en microembalses agrícolas del estado Bolívar, en uno de los brazos del Delta del Orinoco y en la sede de la Universidad Indígena de Venezuela en Tauca.

Palabras clave: jaulas flotantes, microembalse agrícola, piscicultura familiar, piscicultura indígena, *Colossoma*.

Introducción

A diferencia de otros números, el “Baúl de la Ciencia” de este último le ha dado a un biólogo graduado en León la oportunidad de compartir sus experiencias en un especial país, hoy muy controvertido, haciendo uso de las herramientas científicas que adquirió, a pesar de que el académico no era su ámbito, sino más bien el de la innovación y la asistencia técnica a campesinos, pescadores, mineros e indígenas durante más de 30 años en Venezuela. Asumo el reto de hacer el relato desde un enfoque no académico, tratando de resaltar aspectos colaterales ecológicos y sociales que podrían satisfacer la curiosidad de algunos. De los varios campos de acción que enumeré en “Ambiólogos de aquí” del año 2019 he escogido para el presente artículo el de la piscicultura, porque fue al que más tiempo y esfuerzos dediqué.

La cuenca del Orinoco

Venezuela comparte con Colombia la cuenca del río Orinoco, el tercero

Forma de mencionar este artículo: Pérez Álvarez, L.E. 2020, Contribución al desarrollo de la piscicultura continental de aguas cálidas en el Sur de Venezuela. *AmbioCiencias*, 18, 71-82. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

más caudaloso del mundo (33.000 m³/s de caudal promedio en su desembocadura). Pero en ella hay poca densidad de población, muy pocas ciudades de tamaño importante, muy escaso desarrollo industrial y relativamente pocos cultivos agrícolas intensivos que usen pesticidas, aunque sí una masiva minería aurífera que contamina con mercurio. En términos comparativos se podría decir que hasta su curso medio todavía es uno de los grandes ríos menos contaminados del planeta.

El enorme potencial hidroeléctrico del río Caroní es uno de los numerosos privilegios naturales presentes en el territorio venezolano. Fluye hacia el norte desde los extensos territorios del Parque Nacional Canaima (Gran Sabana) en la frontera con Brasil y recibe el gran afluente del río Paragua, una cuenca casi totalmente cubierta por bosque. Desde la confluencia de ambos hasta su desembocadura en Ciudad Guayana ha sido posible construir los embalses hidroeléctricos de Guri, Tocoma, Caruachi y Macagua. La cuenca aporta al Orinoco un caudal promedio en torno a 4.850 m³/s.

La cadena de embalses fue diseñada para que el enorme embalse de Guri con una superficie aproximada de 4.250 km² y capacidad de 138 km³, despachase a través de sus turbinas generadoras un caudal de agua más o menos estable de agua durante todo el año. De ese modo acopia agua durante la estación lluviosa y la libera durante la estación seca, con importantes fluctuaciones anuales del nivel de sus aguas. Pero los embalses aguas abajo de Tocoma, Caruachi y Macagua, de superficies mucho menores, están diseñados para operar durante todo el año a nivel constante, recibiendo cada día el mismo volumen de agua que es entregada al del nivel inferior y, por último, al Orinoco. Esas condiciones de estabilidad hidrológica con velocidades de corriente muy moderadas son muy favorables para la piscicultura en jaulas flotantes.

Veremos a continuación los esfuerzos que se vinieron haciendo en tiempos pasados desde la Estación de Investigaciones Hidrobiológicas de Guayana en la que tuve distintas responsabilidades en investigación y posteriormente desde la Dirección de Producción Piscícola que estuvo a mi cargo, ambas pertenecientes a la Fundación la Salle de Ciencias Naturales (FLASA). A partir del año 2002, también trabajé desde la Universidad Indígena de Venezuela (UIV). Las graves dificultades para obtener casi todos los insumos que afectan a la producción agropecuaria y otros factores sociales que se mencionarán más adelante, imposibilitan casi por completo beneficiarse de la opción de la piscicultura en la actualidad.

Piscicultura en embalses: jaulas flotantes

El Hermano Ginés, presidente y fundador de FLASA, nos hizo en el año 1985 el encargo de ir más allá de los pequeños ensayos experimentales emprendidos por algunas universidades y acometer un proyecto a escala piloto de dimensiones significativas que surtiera un efecto demostrativo para contribuir a estimular al sector público y al privado a desarrollar la piscicultura.

Optamos por la opción de jaulas flotantes al considerar que representaba una gran ventaja comparativa contar con los enormes caudales de agua no contaminada que atravesaban los embalses hidroeléctricos del río Caroní (4.850 m³/s de caudal promedio), sin necesidad de ocupar tierras agrícolas ni de gastar energía para bombear agua, como era el caso de los estanques convencionales. Como especie a cultivar escogimos la cachama (*Colossoma macropomum*) de la que ya se comenzaban a producir alevines masivamente, gracias a procesos de ovulación inducida con hormonas, incubación de huevos y larvicultura. Curiosamente esta especie pertenece a la misma familia Serrasalminae de las pirañas, aunque sus hábitos alimentarios son muy diferentes, y reúne cualidades muy especiales que la hacen muy apta para ser cultivada. Puede sobrepasar los 40 kg de peso y alcanza las tallas comerciales antes de llegar a la madurez sexual, evitando así que una parte del alimento sea ineficientemente desviado al desarrollo de las gónadas.

En aquel proceso de I+D fue necesario superar varios obstáculos importantes antes de poder aprovechar exitosamente los embalses del Caroní, comenzando por el embalse Macagua, que tiene la particularidad de estar en medio de Ciudad Guayana. Uno de ellos era la presencia de pirañas (*Serrasalmus rhombeus*) que mordían las mallas de material textil de las jaulas cuando algún pez moría adentro y quedaba en el fondo. El otro estaba relacionado con la calidad del agua que llegaba sin contaminación y con buenos niveles de oxígeno disuelto, pero con pH ácido, que oscilaba entre 5,5 y 6,5.

Mientras tanto, el proyecto FAO-ITA se interesó en nuestras jaulas, por ser las únicas de tamaño industrial operando en aguas cálidas en toda América, y dio apoyo para que probásemos en otro embalse de aguas no ácidas y sin pirañas, e hiciésemos un análisis microeconómico de esa novedosa modalidad de cultivo dentro del mismo estado Bolívar, aunque en una cuenca distinta a la del Orinoco, concretamente en el embalse de San Pedro, cercano a la población de Tumeremo, en la cuenca del río Esequibo compartida con Guyana. Fue aquella la oportunidad en la que se produjo la primera cosecha en el año 1987 de más de 600 kg de cachama en una sola jaula y la primera publicación en 1989 junto a Giuseppe Martino de un análisis microeconómico de esa modalidad de cultivo en el trópico

americano.

Más adelante, los ataques de pirañas se resolvieron en el embalse Macagua, después de ensayar otras opciones, cuando diseñé un modelo de jaula con malla rígida de polietileno que no era mordida. Además, esas jaulas prismáticas hexagonales de 120 m³ se hacían girar sobre un eje horizontal para hacerlas autolimpiantes, exponiendo cada cierto tiempo una nueva cara al sol mediante una operación rápida y sencilla ejecutada por un solo operario. Así quedaba resuelto el problema del “fouling” (recubrimiento por microalgas filamentosas y otros organismos que pueden obstruir las mallas (**Fig. 1**).



Figura 1. A) Elevando jaula para cosecha; B) Rotando jaula autolimpiante para exponer el “fouling” a la acción del sol.

Para evitar las elevadas mortalidades que causaba la enfermedad “columnaris”, producida por la bacteria *Flavobacterium columnare* cada vez que se sembraban los alevines en las aguas ácidas del embalse, la ictiopatóloga del equipo, Carmen Urquía Ravelo, se encargó de desarrollar con muy limitada disponibilidad de equipamiento en su laboratorio, la primera vacuna eficaz conocida. Al lograr desarrollar inmunidad contra esa bacteria en los alevines 15 días después de una única inmersión en la bacterina, nos abrió la puerta al uso de las aguas del Caroní para la piscicultura intensiva.

Adicionalmente, se diseñó un sistema de transporte anfibio que permitía transportar los alevines desde el centro de reproducción directamente hasta la jaula, evitando el estrés de un trasvase intermedio en la orilla del embalse (**Fig. 2**). Con aquel conjunto de soluciones ya se logró superar la fase piloto y se alcanzaron cosechas de 1.500 kg/jaula en engordes de 10 a 12 meses de duración en los que se obtenían pesos individuales promedio de 1,8 kg, siendo las densidades de 12,5 kg/m³.



Figura 2. **A)** Híbrido *Colossoma macropomum* x *Piaractus orinoquensis* conocido como cachamoto; **B)** Lancha de carga remolcando tanque anfibio con alevines.

Con los aportes recibidos de la Gobernación del estado Bolívar, en el marco de un convenio con FLASA, se construyó la Piscifactoría Flotante Macagua, primera en su género en Venezuela y en el resto de los países vecinos. Me hice cargo del diseño de todas las instalaciones flotantes y equipamientos. El paquete tecnológico incluía, además de las jaulas, entre otros elementos, anclajes, estructuras portantes, plataforma de servicios, robusta lancha de carga de acero naval, equipo de transporte anfibio de alevines, sistemas de cosecha, baño recirculante de bacterina, clasificadores de tallas, así como el conjunto de procedimientos operativos y un sencillo software. Con excepción del motor fuera de borda de la lancha, apenas había elementos que no hubiesen sido construidos por nuestro equipo a costes muy bajos, con la participación de soldadores instalados en la orilla bajo un pequeño cobertizo.

La piscifactoría entró en operaciones en 1992 y se mantuvo unos cuantos años produciendo más de 20.000 kg anuales, vendidos directamente a consumidores de escasos recursos media hora después de cosecharlos. Por primera vez se vendía todos los sábados en Ciudad Guayana pescado muy apreciado por los consumidores por su calidad y sus óptimas condiciones de frescura, de modo que se logró el objetivo de comenzar a introducir en la cotidianidad urbana la cultura de consumo de peces criados en piscifactoría.

En esta última década fue desmontada y vuelta a reinstalar parcialmente en 2014 por órdenes de distintas autoridades. La inseguridad del área y los hurtos frecuentes determinaron el cierre de operaciones y el desmantelamiento en 2019.

Piscicultura en microembalses de uso agrícola

En las fincas ganaderas era una práctica generalizada construir microem-

balses (localmente llamados tapones o jagüeyes) de superficies entre 0,1 y 2 hectáreas, para hacer posible que en la estación seca el ganado pudiese abrevar en todos los sectores de fincas, que con alguna frecuencia tenían más de mil hectáreas. Se aprovechaba el relieve del terreno para que un curso de agua, generalmente temporal, quedara interceptado por un dique de tierra construido con maquinaria pesada y formara una laguna artificial. Dichos microembalses presentan características limnológicas muy diversas y con frecuencia la biota acuática que los colonizaba presentaba producciones primarias y secundarias interesantes.

La existencia de numerosos cuerpos de agua de ese tipo ofrecía a sus dueños la oportunidad de iniciarse en una modalidad sencilla de piscicultura y de seguir promoviendo cultura no extractiva. Con el propósito de ofrecerles la asistencia técnica y los alevines necesarios, preparamos en la finca de mi amigo Italo Bruciapaglia, cercana a Ciudad Guayana, unas instalaciones en las que producía y suministraba alevines de cachama, pero principalmente del híbrido resultante del cruce con el morocoto (*Piaractus brachypomus*, especie revisada recientemente como *P. orinoquense*). Este híbrido, conocido como cachamoto, tenía mejor rendimiento en carne, resistía mejor varias enfermedades y crecía más rápido (**Fig. 2 A**). Desde allí impartí algunos cursos sobre las distintas opciones de manejo.

En el VII Simposio Latinoamericano de Acuicultura del año 1992 propuse un método para caracterizar cada microembalse según características geológicas, climáticas, hídricas, biológicas y antropógenas, y para identificar acciones en función de las pretensiones del propietario. Se podían mejorar las capacidades de producción instalando estructuras para controlar el vaciado del microembalse o mallas para evitar la fuga de peces por el aliviadero en la estación lluviosa, controlando malezas, limpiando la orilla, etc. (**Fig. 3**). Pero no había contemplado la variable sociológica. Normalmente el propietario de la finca tenía una economía más o menos sólida y los trabajadores asalariados en muchos casos residían en “asentamientos campesinos” fuera de la finca, junto a otros vecinos que vivían de una economía de subsistencia en pequeñas parcelas, generalmente con baja calidad de vida y con deficientes servicios básicos.

Algunos productores se contentaban con que los alevines sembrados crecieran a expensas de la producción primaria y secundaria y poder disfrutar simplemente de la pesca recreativa con sus amigos (cultivo extensivo). Otros preferían complementar de forma significativa la alimentación suministrando subproductos accesibles o piensos para cerdos para obtener mayor producción (cultivo semiintensivo). Parte de esa producción a veces era entregada a los trabaja-

dores como complemento de su retribución o era vendida en los mercados de la población más cercana, generalmente los sábados.

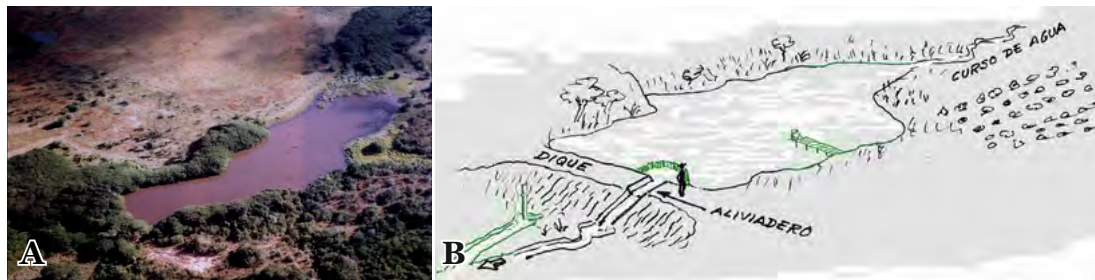


Figura 3. A) Vista aérea de microembalse de uso agrícola; B) Mejoras opcionales para piscicultura.

A medida en que más microembalses se fueron aprovechando para la piscicultura, fue incrementándose la frecuencia de hurtos de peces. En algunos casos se detectaba que alguien había pescado con anzuelo unos pocos peces durante la noche. En otros casos se usaban redes con las que lograban capturar la mayor parte de la producción. El caso es que la mayoría de los dueños de fincas fueron optando por dejar de sembrar alevines, ya que temían que los hurtos que habían comenzado por los peces de sus microembalses, fuesen progresando y afectando a animales de granja o a materiales y equipos de la finca. Aprendí que ese tipo de piscicultura era una buena herramienta técnica, pero su utilidad quedaba neutralizada bajo ciertas condiciones socioeconómicas del entorno que sería necesario equilibrar.

Piscicultura fluvial familiar en jaulas flotantes

Esta fue otra interesante experiencia llevada a cabo en el brazo izquierdo del Delta del Orinoco, el Caño Mánamo, cuyo caudal está regulado mediante una gran obra de ingeniería que en su día causó la salinización de los suelos de importantes áreas. La regulación impide que haya subidas de nivel durante la estación lluviosa y mantiene bajas velocidades de la corriente. Desde la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) Giuseppe Martino atendía productores agropecuarios que cultivaban peces en pequeños estanques en ese sector y nos invitó a diseñar un modelo de jaula para las familias que habitaban las orillas. Temíamos que los hurtos de peces y la acción de predadores como los delfines de agua dulce o toninas (*Inia geoffrensis*) frustraran el intento. Pero tanto la CVG como la Gobernación del estado Monagas decidieron arriesgar algunos recursos y, en cooperación con FLASA, se acometió en el año 2011 la tarea de escoger 4 familias en 4 localidades diferentes, suministrarles la jaula, los alevines y el alimento, adiestrarlas y acompañarlas con visitas periódicas hasta llegar a la cosecha.

Esta vez diseñé una estructura portante simplificada de una sola viga, de la cual colgaba una jaula rígida prismática de sección cuadrada y de 20 m³ de capacidad, que se autolimpiaría mediante una rotación de 90° cada semana y podría operar con profundidades mínimas de 2,50 m. Se construyó un primer prototipo en nuestras instalaciones y, después de probarlo, se acompañó a cada familia para construir cerca de la orilla del río su jaula (**Fig. 4**).



Figura 4. **A)** Desde la izquierda, el autor, la familia Vásquez con la jaula a instalar y Giuseppe Martino; **B)** Jaula instalada y Carmen Urquía Ravelo con niños.

También construimos un dispositivo desarmable portátil que facilitaba poner la jaula en posición adecuada y parcialmente emergida, para los muestreos mensuales que realizaba nuestro equipo usando una red de mano (**Fig. 5**).

Se utilizó alimento preparado con medios sencillos por la CVG a base de maíz, soja y subproductos de pescado, alternando con piensos comerciales.

Las cuatro familias lograron engordar los híbridos de cachama y morocoto (cachamoto) con mortalidades inferiores al 3%, sin fugas de peces, sin pérdidas por la acción de predadores y sin hurtos, aunque hubo solo un ataque de tonina presenciado por un miembro de una de las familias. Produjo la deformación leve de un tubo estructural y una corta rasgadura de la malla plástica por la que no podían escapar los peces, que pudieron ser fácilmente corregidas en el sitio.

Entre septiembre y octubre de 2012 dos de las familias cosecharon por encima de 500 kg, de modo que se constató que en ese tipo de jaulas y en esas condiciones ambientales los híbridos cachamoto podían cultivarse a densidades de 25 kg/m³. Un notable beneficio adicional que comunicaron las familias, fue que debido al efecto de atracción que ejercen las estructuras flotantes sobre los peces lograban pescar con anzuelo peces silvestres cerca de la jaula en cantidades superiores a las que capturaban antes desde la orilla para complementar su dieta.



Figura 5. A) El dispositivo para el izado de la jaula llega en la camioneta de la CVG; B) Manuel Jiménez y Jhonni Calzadilla lo ensamblan rápidamente y lo trasladan ayudados por la familia Robles; C) capturan las muestras; D) miden y pesan cada individuo y examinan las branquias.

Si en el futuro se dan mejores condiciones que en la actualidad, hemos propuesto que se haga mediante un modelo de asociación de pequeños piscicultores que deben gestionar la compra y distribución de alevines y piensos que se distribuirían por vía acuática con una embarcación. La vialidad terrestre en la estación lluviosa se hace muchas veces extremadamente difícil.

Piscicultura indígena

La realidad reciente de las comunidades indígenas de los más de 30 pueblos que conservan su idioma en Venezuela varía mucho. Cada vez van quedando menos comunidades que se sostienen según sus tradicionales métodos de subsistencia basados en caza, pesca, recolección y cultivo de plátano, yuca, y otros vegetales en “conucos” que se toman prestados a la selva durante unos pocos años. Cada vez un mayor número se incorpora a la marginalidad de ciudades como Ciudad Bolívar, Puerto Ayacucho o Tucupita.

Apenas están registrados casos de indígenas que cultiven peces en Venezuela, a excepción de distintos indígenas Pemón que lograron interesantes producciones con la asistencia técnica de Giuseppe Martino y el suministro de alevines desde la CVG en pequeños estanques contruidos por ellos. Pero debe comentarse que viven en la Gran Sabana, cerca de la carretera y tenían mucha más facilidad para adquirir el pienso que otros pueblos que viven en zonas remotas.

En la Escuela Granja de la misión de Wonkén, también en la Gran Sabana, pero muy alejada de vías terrestres, di un curso de piscicultura y apoyo para los primeros engordes que lograron. La sobrevivencia de esa misión implicaba un notorio coste de transporte de suministros, a cargo de la Fuerza Aérea Venezolana, que también transportaba los alevines, el alimento y alguna vez a mí mismo. Sin embargo, contaba con un interesante sistema de ariete mecánico accionado por energía hidráulica, que bombeaba el agua sin consumo de electricidad ni combustibles.

En la Universidad Indígena de Venezuela (UIV), situada en Tauca, cerca de la desembocadura del río Caura en el Orinoco, uno de sus tres ejes educativos promovía la asimilación de modelos productivos que fuesen compatibles con los modos de vida indígenas tradicionales, como por ejemplo la apicultura o la fruticultura de ciertas especies. Su fundador el jesuita hermano Korta, había pensado que los estudiantes indígenas debían aprender a cultivar peces en estanques de tierra convencionales, con equipo eléctrico de bombeo de agua desde el río. Para ese propósito fui llamado a colaborar y logramos construir estanques con maquinaria pesada cedida por la Gobernación del estado Bolívar, así como una estación de bombeo. Los estudiantes demostraban muy buena capacidad de aprendizaje (**Fig. 6**).



Figura 6. A) Estudiantes de la UIV en prácticas de piscicultura; **B)** El estudiante Pemón Argenis (+) alimentando los peces.

Unos años se producían más peces que otros, dependiendo de los recursos disponibles. Una parte se consumía en la Universidad y otra se vendía directamente a los consumidores urbanos. También se logró adquirir larvas de 1 mg de peso y realizar en pequeños estanques la fase de alevinaje, algo sumamente interesante para transferir a sus comunidades. Un año en el que finalmente se consiguieron suficientes recursos, se lograron producir en un solo estanque de tierra de una hectárea 8 toneladas de cachamoto, a pesar de que la profundidad media del estanque fue menor de medio metro en los últimos dos meses, debido a se-

veras fallas del suministro eléctrico. Se cosecharon en una jornada de celebración festiva en septiembre de 2009 a la que asistieron diversos representantes de instituciones y medios de comunicación (**Fig. 7**). Era la primera vez que al sur del Orinoco se cosechaba tal cantidad de peces en un solo estanque de cultivo.



Figura 7. A) Dos estudiantes Ye'kwana de la UIV transportando cachamotos de la cosecha de 2009; **B)** Riyocu, estudiante Huotüja de la UIV, encargado de la piscicultura, con el autor y parte de la cosecha vendida.

Sin embargo, no era replicable en la gran mayoría de las comunidades el sistema de engorde utilizado, porque requería maquinaria pesada para la construcción de grandes estanques de tierra y sistemas de bombeo que demandaban electricidad o gasoil, difícilmente disponibles.

En el año 2012 pude asistir a un taller sobre Carne de monte y consumo de fauna silvestre en la Orinoquia y Amazonia (Colombia y Venezuela) organizado por el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en Puerto Inírida. Se trataba allí sobre la creciente dificultad de la mayoría de las comunidades indígenas para obtener carne de cacería. Algunos especialistas cercanos a pueblos indígenas señalaban que a muchos de los que permanecían poco aculturados les gusta tener diversas mascotas a las que tratan con afecto, pero nunca se les pasa por la mente matar a sus amistades. Tampoco matarán gallinas, cabras o conejos que ellos hayan criado, que hayan respirado el mismo aire, con quienes hayan cruzado miradas a diario. Por eso en bastantes casos apenas veían posibilidades de reemplazar la cacería faltante con la cría de animales de corral. Sin embargo consideraban que unos peces que habitan en el reino de las aguas, sin apenas interacción, sí podían ser alimentados y sacrificados y que nuestro modelo de jaula familiar probado en el Delta del Orinoco tendría muy buenas perspectivas para ser asimilado.

El reto para hacer viable la piscicultura en lugares remotos no es fácil y el principal obstáculo es producir en el sitio alimentos artesanales. Las semillas de



diversas palmas que abundan en algunos bosques podrían ser una opción. Si no, habría que realizar cultivos vegetales para alimentar a los peces.

Mensaje final

Deseo expresar que me siento agradecido a la Universidad que me equipó con el paquete de conocimientos fundamentales para echar a andar por el rumbo que escogí. Y me siento agradecido a todas las personas nobles, de las más diversas condiciones, que durante todos esos años y de diversas maneras, arrimaron el hombro a la labor que me motivaba, me ayudaron a enriquecer mis contenidos y me animaron a seguir adelante.

Espero que este artículo tenga utilidad como otra referencia de las múltiples formas que tenemos los biólogos de ejercer nuestra profesión. Puedo asegurarles a los estudiantes más inquietos que, desde el punto de vista de la economía personal, la mía no ha sido nada motivadora ni recomendable. Pero la acumulación de interesantes y muy diversas experiencias vividas me hacen sentir poseedor de ese tipo de riquezas intangibles que ninguna catástrofe te puede arrebatarse, e imagino que se siguen disfrutando intensamente hasta los últimos días de la vida. A pesar de la destrucción que hoy niega casi por completo los beneficios de la piscicultura a los venezolanos y que me hace sentir cierta frustración, disfruté tanto los intentos de resolver problemas con entusiasmo que, si volviese atrás, repetiría los mismos pasos.

UNO DE LOS NUESTROS

Santos Ovejero del Agua. Catedrático de la Facultad de Veterinaria y su relación con la de Biología de León

Elías F. Rodríguez Ferri

Catedrático Emérito de Sanidad Animal (Microbiología e Inmunología) de la Universidad de León

Resumen

Santos Ovejero del Agua fue un personaje de una personalidad extraordinaria, sin cuya presencia sería difícil de entender la vida social, académica, universitaria y empresarial de la ciudad y provincia de León desde el final de la guerra civil hasta el final de los años 60. Nacido, criado y fallecido en León (1906-1983), suma un espíritu inquieto, bien formado, gran personalidad, de perfil internacional, que ostentó responsabilidades importantes en la vida pública universitaria de la ciudad y fue catedrático y decano de la Facultad de Veterinaria, un visionario de sus posibilidades de proyección social, que proporcionó las primeras claves para la ampliación de estudios universitarios en lo que después sería Facultad de Biología y pionero en la actividad industrial biotecnológica de la Sanidad Animal.

Palabras clave: Santos Ovejero, nacimiento Sección de Ciencias Biológicas de León

Introducción

Segundo de los hijos del matrimonio formado por Faustino Ovejero y Crescencia del Agua, originarios de dos pequeñas localidades de Tierra de Campos, al sur de la provincia de León, entre Valladolid y Zamora, se habían instalado en León, en la calle de Platerías, donde nacieron sus hijos (Faustino, Santos, Mariano, Concha y Carmen) y vivieron holgadamente dedicándose al comercio. Aprendió primeras letras en el colegio de los Padres Agustinos, donde permaneció hasta la hora de decidir su futuro profesional en la, entonces, Escuela Superior de Veterinaria de León.

Con su hermano Faustino, se inició en los estudios de Veterinaria en el curso 1920-21, por el Plan de 1912 y completó la carrera en los cinco años establecidos, graduándose como Veterinario de 2ª clase en 1925, a los 19 años. Acreditó un expediente brillante con 7 sobresalientes, incluyendo “Parasitología, Bacteriología y Preparación de Sueros y Vacunas” y matrícula de honor en “Patología General y Anatomía Patológica.

Forma de mencionar este artículo: Rodríguez Ferri, E. 2020, Santos Ovejero del Agua. Catedrático de la Facultad de Veterinaria y su relación con la de Biología de León. AmbioCiencias, 18, 83-98. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

La promoción de 1920-1925 de la Escuela de Veterinaria de León, que realizaron sus estudios en las instalaciones del antiguo convento de Los Descalzos, fue reducida, de tan solo dieciocho miembros. Los hermanos Faustino y Santos aparecen juntos en la orla. Mucho más tarde, cuando ya se asentó su vida familiar en León en el curso 1946-47, Santos Ovejero se diplomó en Estudios Superiores de Veterinaria en la Escuela de Madrid, equivalente al Doctorado, con una memoria titulada “Estudios sobre muermo y contribución al diagnóstico serológico en el ganado mular y asnal”, la que sería su gran especialidad de aquellos años. Al año siguiente, cuando las Escuelas se transformaron en Facultades de Veterinaria, realizó el examen de Licenciatura, en el que obtuvo la calificación de Sobresaliente.

Santos Ovejero contrajo matrimonio con Dña. Inés Guisasola-Domínguez Gil, con la que tuvo dos hijos, Inés y Juan Ignacio. Desgraciadamente, en el parto de su tercer hijo llegó la tragedia con el fallecimiento de ambos, madre y niño, quedando Santos en total desamparo. La ayuda familiar vino de la mano de su hermana Carmen, que había profesado de monja, y con la preceptiva autorización de la superiora se trasladó a vivir con su hermano, encargándose del cuidado de sus sobrinos y de su padre Faustino quien, por aquellos años, vivía con ellos.

En la vida familiar, dos referentes le acompañaron a lo largo de su vida. Por un lado, su hermano Faustino, que fue además su amigo inseparable y su mentor. El otro, por razones obvias, fue su hermana Carmen, que sacrificó buena parte de su vida y vocación de retiro espiritual para cuidar de sus sobrinos, lo que permitió, en buena medida, que la potencialidad innovadora de Santos Ovejero pudiera expresarse en aquellos años tan difíciles, manteniendo el calor de una familia, con los niños pequeños y un sinfín de dificultades. Mucho más tarde Santos Ovejero volvió a contraer matrimonio con Dña. Pilar Fernández, con la que no tuvo descendencia.

La saga veterinaria de esta familia es muy completa. Además de su hermano Faustino, su hijo Juan Ignacio ha sido su continuador en la empresa familiar y Juan Pablo, hijo de Juan Ignacio, que se licenció en Veterinaria en Madrid, es ahora el relevo. Leticia Pallarés Ovejero, hija de Inés, también se licenció en Veterinaria, en León. Además, Francisco Javier Ovejero, hijo de Faustino, también veterinario, optó por la nutrición animal, y se vinculó al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y a la Facultad de Veterinaria, donde se jubiló con la categoría de Profesor Titular de Universidad.

El camino profesional de Santos Ovejero. La Guerra Civil

La carrera militar de Santos Ovejero se inició enseguida, el mismo año de

terminar los estudios. En el mes de octubre, junto con su hermano Faustino, concurren a las plazas convocadas en el **Cuerpo de Veterinaria Militar**, con gran éxito, pues Faustino obtuvo el número 1 de la promoción y Santos el número 2, con el empleo de **Veterinario Tercero**. Santos obtuvo destino en el 7º Regimiento de Artillería Pesada y en la Academia de Sanidad Militar, donde permaneció desde noviembre de 1925 a mayo de 1926 en que fue destinado al Regimiento Mixto de Artillería de Melilla. Se inicia, con ello, una etapa de la vida de S. Ovejero como veterinario militar, que transcurre en el Norte de África (antiguo Protectorado de Marruecos, Ceuta y Melilla) y se prolonga hasta febrero de 1930, fecha esta última en que se dispuso su pase a la situación de disponible, por enfermo, con residencia en León.

Durante el tiempo que permaneció en África, su actividad se centró en la atención a los servicios veterinarios en todas las modalidades propias (atención al ganado, inspección de alimentos, etc.) y, en especial, estancias en el laboratorio del Hospital de Regulares de Ceuta (que, según manifestaciones del propio Ovejero, era magnífico), en el de la Cruz Roja o el Laboratorio Español de Tánger, con visitas al Instituto Pasteur. Todo ello, además de que le imprimió un carácter y personalidad que no le abandonarían nunca, le ofrecieron la oportunidad de iniciarse en el estudio de la Microbiología. De entonces fueron sus primeros contactos con el muermo o con la rabia, que le servirían después en otros destinos. En octubre de 1927 fue ascendido a Veterinario 2º, y en 1929 le fue concedida la Medalla de la Paz de Marruecos.

En 1932 encontrándose “al servicio de otros ministerios” desarrollando su labor como Jefe de la Sección de Veterinaria en el Instituto de Higiene de León, fue pensionado por el Ministerio de Agricultura, Industria y Comercio, para llevar a cabo estudios de Bacteriología en Francia y Bélgica. En la Escuela de Veterinaria de Alfort (París), trabajó con el Prof. Rinjard, en el Laboratorio de Investigaciones Veterinarias sobre nuevas técnicas de diagnóstico en enfermedades como la fiebre aftosa o la anemia infecciosa equina. Esta estancia fue seguida de otra en 1934, con el mismo patrocinio, en Suiza y Francia. En el Laboratorio Federal de la Industria Lechera Suiza, en Liebefeld (Berna), llevó a cabo estudios de microbiología lechera, bajo la dirección del Prof. Robert Burri, visitando después el Laboratorio Nacional de Investigaciones Agronómicas de Francia, dirigido por el Prof. Guitoneau. Aquel viaje quedó reflejado en una memoria titulada “Utilidad de los microbios en las industrias lácteas” que mereció muchos elogios en la Dirección General de Ganadería y despertó en él una profunda satisfacción personal por el mundo de la leche, que quedaría reflejada después en su presencia y colaboración con la Federación Internacional de Lechería y en el Comité

Nacional Lechero, que llegó a presidir.

El comienzo de la Guerra Civil le sorprendió trabajando en el Instituto de Higiene de León y después de presentarse y quedar a las órdenes del General Gobernador Militar fue destinado a la 1ª Batería de Montaña del 16 Regimiento de Artillería Ligera destacado en La Robla. En el periodo de la Guerra Civil (1936-1939) S. Ovejero, siempre con destinos y responsabilidades relacionadas con su condición de veterinario militar, prestó atención sanitaria a los animales y numerosos cometidos en laboratorios del Ejército, primero, en el frente de León y después, en el de Madrid. Fue responsable del laboratorio y la sección de infecciosos del Hospital de Ganado de Getafe e instaló y dirigió un laboratorio en Toledo (Casarrubios del Monte) donde llevó a cabo una intensa labor de diagnóstico y control del muermo equino que según sus propias declaraciones representó “uno de los aspectos más importantes de sus investigaciones en Bacteriología”. En junio de 1938 fue nombrado director del Laboratorio Veterinario del Ejército del Centro desde cuya responsabilidad llevó a cabo diversas intervenciones de diagnóstico y lucha frente a carbunco en Toledo y Cáceres y sobre diagnóstico de muermo, por maleinización, en Toledo. Nuevos traslados en 1939 le llevaron a Valladolid y después a Barcelona, como Jefe de la Sección de Maleina del Laboratorio Central de Veterinaria Militar, donde realizó una amplia labor de formación. Al término de la contienda, se incorporó a su puesto de director de la Estación Pecuaria Regional de León.

En 1946 pasó a la situación de Retirado del Ejército, a petición propia, por motivos de salud. Finalmente, por Orden de 9 de enero de 1947 se le concedió la Cruz de la Real y Militar Orden de San Hermenegildo.

La Inspección de Sanidad Veterinaria y el Cuerpo Nacional Veterinario

Después del precoz ingreso en la vida militar, con las primeras experiencias en relación con las enfermedades infecciosas animales (algunas zoonosis), Ovejero había adquirido ya una experiencia en este campo en el que se encontraba particularmente cómodo y no desperdiciaba ninguna ocasión para profundizar en su conocimiento, así que cuando se crearon las Secciones de Veterinaria (después Inspecciones Provinciales de Sanidad Veterinaria) en los Institutos Provinciales de Higiene (RO de 9 de febrero de 1929) y se convocaron las plazas, concurrió a ellas, nuevamente con éxito, siendo destinado a la de León. En este puesto, entonces dependiente de la Dirección General de Ganadería, realizó las dos estancias a las que ya nos hemos referido, en Francia y Suiza, y después otras

en el Laboratorio Municipal de Barcelona, contribuyendo en León a la formación sanitaria de médicos, farmacéuticos y veterinarios alcanzando un gran prestigio hasta su jubilación.

El Cuerpo Nacional Veterinario surgió al amparo de la Dirección General de Ganadería, creada por Decreto de 30 de mayo de 1931, en la que se integraban las Inspecciones Generales de Higiene y Sanidad Pecuarias y las de Sanidad Veterinaria. Santos Ovejero obtuvo el número 1 en la oposición de 1933 (IX Promoción). Sin abandonar la Inspección de Sanidad Veterinaria, el primer destino fue la dirección de la Estación Pecuaria de León (la Granja Pecuaria), desde febrero de 1935 pasando después a la Jefatura del Servicio Provincial de Ganadería y, desde 1948, a la Dirección del Laboratorio Pecuario Regional del Duero. En este año, fue nombrado jefe de la Delegación Permanente de España en la OIE (Organización Mundial de la Sanidad Animal), el primer delegado después de la Guerra Civil, lo que supuso reincorporar a España a la institución internacional más importante, en la lucha contra las enfermedades infecciosas de los animales y, en ese mismo año, también, presidente del Comité Nacional Lechero. Ambas instituciones centraron lo mejor de la actividad científica y profesional de Santos Ovejero, y en ellas permaneció toda su vida, pues las reuniones y los congresos, allá donde se celebrasen, eran para él citas fijas en su agenda (Suárez y Rodríguez Ferri, 2011).

La llamada de la Universidad. La Escuela de Veterinaria

Parece claro que a Santos Ovejero le había atraído siempre la docencia y desde su paso por la Escuela de Veterinaria, no abandonó nunca la idea de volver a ella como profesor. Así, en 1932, cuando permanecía vinculado a la milicia con el destino de “al servicio de otros ministerios” solicitó, sin éxito, una plaza de Auxiliar en la Escuela de León y 4 años después (curso 1935-36) fue nombrado, a propuesta del claustro, Ayudante Interino, gratuito, de la cátedra de Genética y Morfología. Después de la Guerra, en 1940, fue renovado, ahora en Patología Médica. El fallecimiento de D. José Marcos, catedrático de Enfermedades Infecciosas y Parasitarias, permitió en 1944 su nombramiento como profesor encargado de la disciplina, en lo que se mantuvo hasta 1947 en que, obtuvo por oposición la cátedra de Bacteriología, Inmunología y Preparación de Sueros y Vacunas de la Escuela de León, siendo nombrado por Orden de 21 de abril.

En 1947, Ovejero era ya una personalidad de gran prestigio en León, pues a su condición de veterinario militar (retirado reciente), unía la de jefe del Servicio Provincial de Ganadería y de inspector provincial de Sanidad Veterinaria, a las que sumaba ahora la de catedrático y, todavía de primer director de Laboratorios Syva (**Fig. 1**).



Figura 1. Santos Ovejero en 1948 y 1954. Detalles (fotografías de pasaportes de S. Ovejero).

Su trayectoria académica fue fiel a este marco disciplinar, impartiendo las enseñanzas de Microbiología e Inmunología, en diferentes opciones, en los tres planes de estudio que le correspondieron, los de 1944, 1953 y 1967.

Por Orden del Ministerio de Educación de 10 de noviembre de 1951, a propuesta del entonces rector de la Universidad de Oviedo, D. Torcuato Fernández Miranda, fue nombrado decano de la Facultad de Veterinaria, siendo confirmado en 1962 (O.M. de 15 de enero) y cesando en 1964, a petición propia. Este periodo de 13 años es de una extraordinaria actividad en aquella Facultad ahogada por la escasez de recursos que se revela, sin embargo, como el centro cultural por excelencia de la capital leonesa, igual que el refugio general donde encontraba cobijo cualquier necesidad, fuera o no universitaria. En este periodo destacan algunas iniciativas como los cursos de doctorado, algunos, como los de Microbiología Aplicada, que impartía él mismo, ya se había iniciado en el curso 1949-50 y los mantuvo hasta su jubilación, o los de Nutrición Animal y, desde luego, la especialidad de Sanidad Veterinaria, impartida entre 1958 y 1964, donde se impartió Microbiología de los Alimentos, una vía de expresión de sus amplios conocimientos de esta materia, en particular en el caso de la leche.

La Facultad de Veterinaria se convirtió en el foco de la cultura leonesa, con visitas y actuaciones de figuras del máximo nivel. Aquel paraninfo vio y aplaudió intervenciones de Dámaso Alonso, Luis Rosales, Pedro Laín Entralgo, Leopoldo Panero, Victoriano Crémer, Torcuato Fernández Miranda, Ramón Tamames, Pita Andrade o Gastón Ramón, entre otros muchos. Otro tanto ocurrió con los Cursos de Verano para Extranjeros, cuya dirección ocupó Ovejero entre 1956 y 1965, por designación del Gobernador Civil, presidente del Patronato, a los que dio un impulso nuevo hasta convertirlos en un atractivo social de primer orden en la

capital. Por ellos también pasaron las figuras más relevantes de la filosofía o literatura de aquellos años, como Julián Marías o Gabriel Marcel, entre otros.

Mención especial merece la creación de la revista “Anales de la Facultad de Veterinaria de León” en enero de 1954, cuyo primer número vio la luz al año siguiente (1955), convirtiéndose durante muchos años (el último volumen fue el 1994-96) en el órgano de expresión de las actividades científicas del centro. Durante el periodo de su condición de decano, realizaron una gran labor distintos profesores encargados de su gestión, en especial el Prof. D. Benigno Rodríguez, primero, y más tarde el Prof. D. Andrés Suárez. Para ambos las actas de las Juntas de Facultad recogen expresiones de reconocimiento y agradecimiento del decano.

Santos Ovejero del Agua inició el camino que condujo, desde la Facultad de Veterinaria, a la creación de la Facultad de Biología y con ello a la futura Universidad de León

La cuestión de la participación de Ovejero en la creación en León de la Sección de Ciencias Biológicas, dependiente de la Universidad de Oviedo, representa un hito trascendente, clave, para el futuro universitario de León porque abriría la puerta no solo a la creación de la Facultad de Biología, sino que, unido al Colegio Universitario de Filosofía y Letras y la Academia de San Raimundo de Peñafort, después convertidos en Colegio Universitario (1976) (Decreto 2427 de 21 de julio de 1972) más los Centros de Magisterio, Enseñanzas Técnicas y de Comercio, constituyó la plataforma en la que se basaron los esfuerzos comunitarios de la capital conducentes a la creación de la Universidad. Un empeño que debe personalizarse, entre otros muchos, en grandes figuras como D. Miguel Cordero, entonces decano de la Facultad de Veterinaria o D. Emilio Hurtado y D. Julián de León, por parte de la Caja de Ahorros y Monte de Piedad de León, cuyo papel fue también decisivo para poner en marcha, primero, la Sección, más tarde, Facultad de Biológicas, culminando después con la creación de la Universidad de León en 1979.

La historia de creación de la Sección de Ciencias Biológicas, establecida por OM de Educación de 12 de julio de 1961 (BOE del 19 de agosto), el primer eslabón de toda la cadena, fue objeto de un relato minucioso por parte del Prof. D. Miguel Cordero del Campillo, recientemente desaparecido (en 2020), en primer lugar, en su obra sobre la creación de la Universidad de León, publicada en 1983 (Cordero, 1983) y después, en 1995, con ocasión de la celebración del 25 aniversario de la Facultad de Biología (Cordero, 1995).

Cordero refiere que, ya desde 1912, se habían producido diversas pro-

puestas de creación de una Facultad de Ciencias desde la Escuela Superior de Veterinaria, reiterada en 1932, solicitando el establecimiento del primer curso de Veterinaria, común con el de Ciencias, insistiéndose en ello más tarde en 1934 y 1935. Cordero fue un protagonista muy especial de la puesta en marcha de la Sección de Ciencias Biológicas, como después lo fue de la creación de la Universidad de León; sin embargo, en estos textos no aclara el propio nacimiento de la Sección, que se produjo, como él señala en el artículo citado, en forma un tanto sorprendente e inexplicable, por OM de 12 de julio de 1961, siendo director general de Universidades D. Torcuato Fernández Miranda y Hevia y ministro de Educación Nacional, D. Jesús Rubio y García Mina.

Las alusiones sobre este asunto a lo largo del periodo en que fue decano de la Facultad de Veterinaria el Prof. Ovejero (1951 a 1964) fueron objeto de intervenciones puntuales por parte de varios miembros de la Junta de Veterinaria. El acta de la sesión de 6 de diciembre de 1952, que estuvo presidida por el rector D. Torcuato Fernández Miranda (que lo fue entre 1951 y 1954), con presencia del decano Ovejero, gran amigo personal de aquel, recoge un debate suscitado a propósito de si la Junta consideraba conveniente que el primer curso de Veterinaria fuera o no común con el de las Facultades de Ciencias. Todos los asistentes se pronunciaron a favor, recogiendo una intervención del Sr. Uzquiza, que, como el resto, apostaba por un plan común y planteó, además, la conveniencia de solicitar a la Superioridad, una Sección de la Facultad de Ciencias. No hemos encontrado referencia expresa a este hecho en más documentos, antes de producirse la publicación de la citada disposición de creación, hasta que el acta de la Junta de 20 de diciembre de 1961 recoge el acuerdo de expresar a las autoridades locales, provinciales, rector y director general de Enseñanza Universitaria, la satisfacción unánime por el Decreto (O.M.) de creación, en León, de la Sección de Ciencias Biológicas.

Después de aquella fecha, en otras ocasiones (acta de 10 de octubre de 1962) se cuentan, también, intervenciones que aluden a los deseos de miembros de la Junta respecto a la creación de una Facultad de Biología (Prof. Suárez “*si es que ésta llega a ser una realidad*”), o de Ciencias Biológicas (Prof. Izquierdo). En el curso de la celebrada el 10 de octubre de 1963 se relata una felicitación de toda la Junta al jefe del SEU por su discurso con motivo de la inauguración del curso. La existencia de matices por parte de alguno de los catedráticos permite colegir que algunas gestiones académicas exigían discreción porque, lejos de parecerlo, la unanimidad no era la norma.

La particularidad del hecho la resume bien Cordero (1995), pues, como ya se ha indicado, la O.M. apareció por sorpresa, a mediados del mes de julio, y “sin

que constara ningún tipo de consulta previa ni a la Facultad de Ciencias ni al Rectorado de Oviedo, ni a su Junta de Gobierno”. Aunque no existen documentos que proporcionen luz sobre la situación, al menos la mayor parte de los miembros de la Junta de Facultad no necesitaban de más explicaciones para saber qué era lo que había ocurrido entre bastidores.

Conocida la pugna entre Oviedo (que ya contaba con una Sección de Químicas y otra de Geológicas) y León por la implantación de una Sección de Ciencias Biológicas, que también era deseo de los de Oviedo, es comprensible que los movimientos se llevaran a cabo de forma discreta con la Dirección General de Enseñanza Universitaria, responsabilidad del antiguo rector de Oviedo. Alguno de los más destacados discípulos del Prof. Ovejero ha dejado testimonio escrito de lo sucedido. A su tenor, para ellos y para muchos más, no cabía lugar a dudas, y sería una verdadera ingenuidad pensar que la decisión del director general se había producido en solitario, sin ayuda.

En su intervención en el homenaje de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de León a D. Santos Ovejero y D. Félix Gordón, Guillermo Suárez, catedrático de Microbiología e Inmunología, decano de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense (Suárez, 1986) y discípulo del Prof. Ovejero, señalaba, refiriéndose a éste: “ya en 1960, gestiona con el director general de Universidades, antiguo rector de la Universidad de Oviedo y muy buen amigo de D. Santos, D. Torcuato Fernández Miranda, la creación de una Sección de Biología en León, dependiente de la Facultad de Ciencias de Oviedo”. Después de pensarlo mucho, afirma Suárez, “en la Dirección General y, parece ser que, sin consultar ni al rector ni a la Facultad de Ciencias, se ordena la creación de la Sección de Biológicas de dicha Facultad de Ciencias en León”. Suarez apostilla, además, que la amistad entre D. Torcuato y D. Santos era un hecho bien conocido por todo el profesorado, y así lo atestiguan cantidad de documentos gráficos, igual que las manifestaciones de su hijo Juan Ignacio. Todavía hay que añadir el testimonio que aparece en el capítulo dedicado a Santos Ovejero del Agua, en el Volumen III de la obra “Semblanzas Veterinarias” (Suárez y Rodríguez Ferri, 2011) y en idéntico sentido se pronunció, José de Vicente González, uno de los personajes más próximos a Santos Ovejero, con quien coincidió en el Instituto de Higiene de León como inspector provincial de Farmacia (De Vicente, 1997) (**Fig. 2**).

El propio Cordero, que pasa de puntillas sobre la situación cuando describe la historia de la Sección de Ciencias Biológicas en el libro conmemorativo del 25 aniversario (Cordero, 1995), sí se refiere allí al rector D. Torcuato Fernández Miranda, “que puso, como decano, al frente de la Facultad de Veterinaria, a una persona prestigiosa, el Dr. S. Ovejero del Agua”. Sorprende esta escasez de datos,



Figura 2. Fotografías correspondientes a diversas visitas del rector Torcuato Fernández Miranda a León, presidiendo actos académicos o departiendo con el decano S. Ovejero y catedráticos y profesores de la Facultad de Veterinaria (del archivo de la Facultad de Veterinaria)

cuando el propio Cordero ya se había referido a ello antes (Cordero, 1983) con estas palabras: “Las gestiones habían sido llevadas a cabo por el decano de Veterinaria, D. Santos Ovejero del Agua, con el entonces director general de Enseñanza Universitaria, D. Torcuato Fernández Miranda y Hevia y las autoridades leonesas”. Además, todavía en tres intervenciones posteriores aclara definitivamente la situación y, con ello, reconoce y rinde el justo reconocimiento a la intervención del Prof. Ovejero en la creación de la Sección de Ciencias Biológicas en León.

En primer lugar, en la breve eskuela biográfica, que lleva su firma y que aparece en el sitio web de la Real Academia de Historia (www.rah.es) se refiere a Santos Ovejero con las siguientes palabras: “Contribuyó decisivamente a la creación de la Sección de Ciencias Biológicas de León (1961) en la que enseñó Microbiología (1967-1976)”. En segundo lugar, tales palabras coinciden con el texto que figura en la placa dispuesta en el paraninfo de la Facultad de Veterinaria con ocasión del homenaje tributado en 1986 a Santos Ovejero e, independientemente, a Félix Gordón, ya citado. El homenaje a Ovejero fue consecuencia de la propuesta realizada por el decano a la Junta de Gobierno de la Facultad de Veterinaria en parte, como reconocimiento a su memoria en la Fundación Prof. Dr. Santos Ovejero del Agua, presidida por el rector e impulsada por su viuda, Dña. Pilar Fernández, que estaba premiando anualmente a los alumnos con mejores expedientes de la Facultad de Veterinaria. Con aquel motivo, el Prof. Cordero,

también patrono de la Fundación, me solicitó personalmente encargarme de redactar el texto que habría de figurar, tanto en la placa homenaje a D. Santos Ovejero, que aparece en el paraninfo de la Facultad, como en la que se dispuso en el vestíbulo, homenaje a D. Félix Gordón. En la de Ovejero, reza como sigue: “La Facultad de Veterinaria de León. Al Excmo. Sr. D. Santos Ovejero del Agua (1906-1983). Insigne Microbiólogo, Catedrático, Decano, Benefactor de este Centro y Decisivo Impulsor del Nacimiento de la Universidad de León”.

Por si quedaban dudas, el propio Cordero, en un artículo publicado en esta misma revista “AmbioCiencias” (Cordero, 2008), se refiere a la cuestión del siguiente modo: “...Se conoció entonces, que las gestiones habían sido llevadas a cabo discretamente por el decano de la Facultad de Veterinaria con el Director General de Enseñanza Universitaria, D. Torcuato Fernández Miranda y Hevia, ex rector de la Universidad de Oviedo, quienes hicieron la propuesta al ministro de Educación Nacional, D. Jesús Rubio y García Miranda”.

Resuelto el enigma, que para algunos estuvo claro desde el principio, queda así, definitivamente establecida la autoría del primer paso importante de cuanto, después, permitiría el paso a la Facultad de Biología y más adelante a la Universidad de León, haciendo buenas y justas las propias palabras del Prof. Cordero, en el sentido de que “**Contribuyó decisivamente a la creación de la Sección de Ciencias Biológicas**” o que fue “**Decisivo impulsor del nacimiento de la Universidad de León**”. La publicación de la Orden en el Boletín Oficial del Estado fue, sin duda, el primer logro que habría de ir seguido de una cruenta batalla hasta lograr su puesta en práctica, como ha descrito con todo detalle el Prof. Cordero (1983 y 1995); pero sin aquel primer y decisivo paso, la lucha de tantos por lograr la creación de la Universidad de León hubiera tenido que ser, necesariamente, totalmente diferente. Queda dicho.

Las iniciativas del Prof. Ovejero como decano de la Facultad de Veterinaria, además de las que ya se han referido, fueron muchas más, aunque algunas no acabaran en el éxito perseguido, principalmente por la penuria económica vivida en aquel periodo. Así sucede, por ejemplo, en relación con el acuerdo de solicitar la construcción de un Colegio Mayor nuevo (10 de octubre de 1962), o la buena noticia de que se iba a construir una residencia universitaria para 150 alumnos, tanto de enseñanza universitaria como de enseñanza media.

No de menor importancia, en cuanto a su labor en pro de la investigación se refiere, fue la propuesta de creación de un Instituto de Investigación Animal, dependiente del Patronato “Alonso Herrera” del CSIC. Por mucho que al final el Ministerio la desestimara, pone de manifiesto su inquietud por la investigación, sembrando una idea que más adelante, en otros mandatos, sí cuajaría definitiva-



mente, en lo que hoy es el Instituto de Ganadería de Montaña (antes, Estación Agrícola Experimental). Igual ocurrió con la solicitud de creación de una Academia de Veterinaria, tal cual figura en el acta de 15 de junio de 1959, y que fue reiterada, sin ningún éxito, con fecha 22 de diciembre de 1962.

En lo Académico, Santos Ovejero fue nombrado, en febrero de 1968, director del Departamento de Patología Infecciosa y Parasitaria, que incluía también Microbiología, Virología e Inmunología y desde 1973 hasta su jubilación lo fue del de Microbiología e Inmunología, ocupándose además de las disciplinas de Microbiología y Microbiología Industrial en la Facultad de Biología, desde el comienzo como Sección, con implicación en tal labor de alguno de sus discípulos, entre quienes me cuento.

En el capítulo investigador su actividad fue muy completa, centrándose en el estudio de la etiología de algunas enfermedades transmisibles, como el muermo, en la que adquirió gran prestigio después de su periodo militar, pero también investigó en brucelosis, tuberculosis, fiebre Q o anaplasmosis, a los que añadió una importante cantidad de referencias en patógenos animales como las estreptococias del cerdo, mamitis gangrenosa en la oveja, estafilococias o peste porcina, en los que no solo abordaba cuestiones etiológicas referidas a la identificación, cultivo o caracterización, sino también el diagnóstico y, en otros casos, su prevención mediante vacunación o mediante higiene y desinfección. En el capítulo de la microbiología de alimentos, aunque existen algunas experiencias relacionadas con la carne o las semiconservas, fue la leche (natural, en polvo o condensada) y los derivados lácteos, una de sus pasiones menos conocidas, con estudios sobre la presencia de patógenos, como los estafilococos y sus toxinas, o de la microbiota y sus desviaciones consecuencia, por ejemplo, de tratamientos con antibióticos. Fue, igualmente, un habitual en congresos de Microbiología, Enfermedades Infecciosas (OIE) o Lechería, sea como ponente o como presentador de comunicaciones, un capítulo que se completa con el de conferenciante y divulgador, donde adquirió, también, gran prestigio (Suárez y Rodríguez Ferri, 2011; Rodríguez Ferri *et al.*, 2006).

Santos Ovejero el técnico y empresario de la Sanidad Animal

Una personalidad “poliédrica” (Suárez, 1986), superactiva, incapaz de perder el tiempo, entendió enseguida la proyección de sus conocimientos sobre Microbiología y Vacunología cuando fue invitado por los propietarios de IAPSA (Industrias y Almacenes Pablos, S.A.) para dirigir el proyecto de creación de Laboratorios Syva en 1941. Aquella circunstancia, en la que Ovejero se ocupaba de la dirección técnica y de la obtención de los antígenos destinados a la producción



de sueros o vacunas, le sirvió para entender un mundo, el de la industria, que hasta entonces no había ocupado lugar en sus pensamientos. Unos años después, en 1948, inició su propia aventura industrial con la creación de Laboratorios Ovejero configurando así, con Syva y Antibióticos SA, un polo industrial químico-farmacéutico-biológico, que ha sido clave en el desarrollo de León, que se ha mantenido, con diversas modificaciones, pero con buena salud, hasta el presente.

Reconocimientos

Santos Ovejero fue pródigo en recibir reconocimientos, nacionales e internacionales, como la Academia Veterinaria de Francia, la Sociedad Francesa de Patología Comparada, la Americana de Bacteriólogos o la Italiana para el Progreso de la Zootecnia. Fue socio de honor de la Sociedad de Ciencias Médicas de Las Palmas, Presidente del Comité de Enseñanza y miembro permanente de la Federación Internacional de Lechería (FIL), de la Asociación Mundial de Veterinarios Microbiólogos, Inmunólogos y Especialistas en Enfermedades Infecciosas y de la Sección de Estandarización Microbiológica Internacional. En 1943, fue nombrado presidente de honor del Colegio Oficial de Veterinarios de León. Fue consejero de Educación Nacional y de Distrito, perteneció a las Reales Academias de Medicina de Valladolid y Oviedo y de Ciencias Veterinarias de España. Recibió las Medallas de la Paz de Marruecos, la Gran Cruz Roja del Mérito Militar, la Encomienda de Número de la Orden del Mérito Agrícola, la Medalla de Plata del Mérito Sindical y la Encomienda con Placa de las Ordenes Civiles de Sanidad y de Alfonso X El Sabio. Por O.M. de 14-3-1977, fue nombrado decano honorario de la Facultad de Veterinaria de León.

Epílogo

Santos Ovejero del Agua fue una personalidad leonesa, muy leonesa, dotado de una capacidad de trabajo y de lucha verdaderamente excepcionales. Uno de los leoneses que contribuyeron al prestigio indiscutible de la Facultad de Veterinaria de León en la 2ª mitad del siglo XX, entonces el único centro superior existente en la ciudad, sobre el que se asentarían después iniciativas que abrieron la puerta a la creación de la Sección de Ciencias Biológicas cuyos beneficios se vieron después, aunque fueron otros leoneses los que tuvieron que seguir trabajando para lograr su funcionamiento. Su prestigio personal, muy al uso en aquellos años, se cimentó en un currículum basado en el esfuerzo personal, que le llevó a ganar cuatro oposiciones, a lo que hay que sumar su nada despreciable actividad formadora, investigadora y publicista y, también su actividad industrial

relacionada con la sanidad animal y la biotecnología microbiana, que continúa.

Extraordinariamente informado a partir del estudio, mantuvo excelentes relaciones nacionales e internacionales en los ámbitos de la Sanidad Animal y la Salud Pública, conciliando ambos quehaceres con su condición de sanitario, a lo que dedicó muchos de los mejores años de su vida. No le fue a la zaga cuanto se refiere a su vida académica y responsabilidades varias, especialmente como decano, consejero de distrito o como consejero de Educación Nacional, una prolongada etapa en la que abrió el León universitario al mundo (**Fig. 3**). Facilitó la incorporación de catedráticos jóvenes, vocacionales, dedicados, amantes de la Universidad y bien formados, que impulsaron no solo la formación académica oficial, sino también la investigación, contribuyendo a una reputación que hizo de León un referente.



Figura 3. Santos Ovejero en su despacho (Cortesía de los Prof. Drs. F. Rojo y G. Suárez)

A Santos Ovejero del Agua no se le ha hecho la justicia debida en relación con la Facultad de Biología de León, ni tampoco en relación con la creación de la Universidad de León. Pese a que el propio Cordero en su libro sobre la Universidad de León (La Universidad de León. De la Escuela de Veterinaria a la Universidad de León, 1983, página 418) ya había dejado clara su participación en la gestión de la O.M. que declaraba la creación de la Sección de Ciencias Biológicas en León, en el libro conmemorativo del 25 aniversario de la Facultad de Biología (1995) ni siquiera existe una sola mención, no ya respecto del citado nacimiento, sino tampoco con sus responsabilidades docentes en los primeros tiempos, en los cuales la enseñanza de Microbiología en Biología y Veterinaria caminaban de la mano, bajo su control, lo que sirvió también para la contratación, como ayudantes, de alguno de los primeros licenciados leoneses en Biología (aunque su fotografía aparece en las orlas de las 6 primeras promociones, hasta 1977, sin

embargo se echa de menos su ausencia, al menos, cuando se refiere a la docencia de Microbiología). Igual olvido cabe imputar a la Universidad, pues con motivo de su décimo aniversario, en 1990, Cordero se refiere, solo genéricamente "...a su profesorado se debe la creación de la Sección de Ciencias Biológicas en 1961" (Cordero, 1990) y no corrió mejor suerte en el libro publicado con ocasión del XXV aniversario, en 2004 (Cordero, 2004) e igual ha ocurrido este mismo año (2020), con motivo de la conmemoración del 40 aniversario de la Universidad de León, donde tampoco se ha escuchado la más mínima referencia a su persona ni a sus aportaciones, que quedaron ocultas, cuando desde hacía tiempo sus discípulos nos veníamos refiriendo a ellas. Por este motivo agradecemos a las autoridades de la Facultad de Biología, actuales y pasadas, la sensibilidad mostrada, permitiendo hacer justicia a su papel poco conocido y, por razones de la discreción no documentado, en la creación de la Sección de Ciencias Biológicas y, como consecuencia de ello, en el posterior nacimiento de la Universidad de León.

Sirva, en cualquier caso, esta breve crónica para honrar su memoria en un aspecto fundamental del nacimiento la Facultad hermana a la que tantos y desde tantos aspectos, la Facultad de Veterinaria prestó siempre su colaboración y ayuda desinteresada. Aun a día de hoy no son pocos los licenciados, graduados y doctores en Biología que realizan su actividad docente e investigadora en la Facultad de Veterinaria, siendo lo contrario más bien puntual.

Su trágico final dejó un vacío que nunca se llenó del todo. Más adelante, incorporado a la recién creada Universidad de León, me cupo el alto honor de ser su heredero académico, la razón que justificó mi inclusión como patrono en la Fundación Prof. Santos Ovejero del Agua. El Ayuntamiento de León, a propuesta del Colegio de Veterinarios, entonces presidido por el Prof. D. Miguel Abad Gavín y yo mismo el representante de la Facultad de Veterinaria en su Junta de Gobierno, decidió dar su nombre a una calle, en el polígono de Eras de Renueva, próxima a la antigua ubicación de Laboratorios Ovejero.

Bibliografía

- Colegio Universitario de León. 1976. Extracto de Memoria. Fundación de la Caja de Ahorros y Monte de Piedad de León, León
- Cordero del Campillo M. *La Universidad de León. De la Escuela de Veterinaria a la Universidad*. 1983. Edit. Everest. León
- Cordero del Campillo M. 1990. Universidad de León. *El primer decenio 1979-1989*. Universidad de León. Secretariado de Publicaciones. León
- Cordero del Campillo M. 1995. El nacimiento de la Sección de Ciencias Biológicas en la ciudad de León (1961-1968). En "*25 Aniversario de la Facultad de Biología*", 21-41. Secretariado de Publicaciones. Universidad de León

- Cordero del Campillo M. 2004. Ciento cincuenta años de Veterinaria en León. En *“Hacia la Universidad de León. Estudios de Historia de la Educación en León”*. Gráficas Celarayn S.A., pág 448. Universidad de León
- Cordero del Campillo M. 2008. La Prehistoria de la Sección de Ciencias Biológicas en León (1961-68). *Ambiociencias* 2:4-11
- Cordero del Campillo M. Santos Ovejero del Agua (Ovejero del Agua, Santos. León, 16.VIII.1906-22.XI.1983. Catedrático veterinario, microbiólogo y promotor industrial). <http://dbe.rah.es/biografias/33445/santos-ovejero-del-agua>. Consultada 20 sept 2020
- De Vicente González, J. 1997. Santos Ovejero en la Historia de la Veterinaria Española. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias* 4:47-62
- Decreto 2427, de 21 de julio de 1972, por el que se constituye el Colegio Universitario de León, de la Universidad de Oviedo. BOE 226, de 20 de septiembre, 17031
- Orden de 12 de julio de 1961 por la que se crea en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oviedo, la Licenciatura de Ciencias Biológicas (Sección de Ciencias Biológicas) con sede en León. BOE 198 de 19 de agosto de 1961, 12273
- Rodríguez Ferri EF, Paniagua Andrés C, Gutiérrez Martín CB. 2006. Santos Ovejero del Agua, una referencia en la historia reciente de la Microbiología e Inmunología Veterinarias en España. *XII Congreso de la Asociación Española de Historia de la Veterinaria*, León
- Suárez Fernández G. 1986. Elogio de una figura egregia: Excmo Sr. D. Santos Ovejero del Agua. En *“Homenaje de la Facultad de Veterinaria de la Unviersidad de León, a los Excmos Srs. D. Santos Ovejero del Agua y D. Félix Gordón Ordás”*. Universidad de León. Servicio de Publicaciones
- Suárez Fernández G, Rodríguez Ferri EF. 2011. Santos Ovejero del Agua (1906-1983). En *“Semblanzas Veterinarias. Vol III”*. Consejo General de Colegios Oficiales de Veterinarios, 186-216

AMBIOLOGOS DE AQUÍ

Descubrimiento de antibióticos mediante ordenadores

César de la Fuente Núñez

Tuve suerte. Desde muy chico encontré mi pasión: conocer lo desconocido para intentar mejorar nuestra sociedad. Esto me ha llevado en volandas alrededor del mundo, desde A Coruña a Philadelphia, pasando por León, Vancouver y Boston.

En A Coruña, mi tierra, estudié y me formé en el Instituto Eusebio da Guarda. Después fui parte de la primera promoción de la Licenciatura en Biotecnología en la Universidad de León. Guardo grandes recuerdos de esta etapa formativa. Posteriormente, completé mi doctorado en Microbiología e Inmunología en la University of British Columbia (2014), durante el cual tuve la suerte de contar con una beca de “la Caixa”. En este periodo, me centré en comprender desde un punto de vista de principios básicos las reglas que rigen a los sistemas biológicos para así poder programarlos. Mis objetivos a largo plazo eran 1) entender, 2) controlar, y 3) digitalizar estos sistemas. Enfoqué mi energía en los organismos vivos más simples que existen (las bacterias) y en moléculas que hacen posible la vida (proteínas y péptidos). Siempre me fascinaron las bacterias, las primeras habitantes de la Tierra, expertas absolutas en supervivencia, resiliencia, y adaptación. Aprendí cómo operan estos pequeñísimos organismos, elucidé algunos de los intrincados mecanismos que emplean para volverse dañinas para el ser humano, y comencé a construir en el laboratorio diminutas proteínas llamadas péptidos antimicrobianos para poder contrarrestarlas.

Me apasionaba la química de las proteínas por lo que nos enseñan acerca de la naturaleza de las moléculas de la vida. Con su física y su química particular, las proteínas catalizan cada reacción imaginable para que la vida suceda tal y como la conocemos. Además, las proteínas nos permiten movernos, correr, digerir la comida que comemos, construir y reparar tejidos, y son piezas fundamentales de nuestros huesos, músculos, cartílago, piel, y sangre. Nada sería posible sin ellas. Estas moléculas tienen una complejidad inigualable en cuanto a su variabilidad de secuencia, tanta que el proceso evolutivo tan solo ha explorado una fracción de todas las proteínas que pueden existir, al menos conceptualmente.

Forma de mencionar este artículo: de la Fuente Núñez, C. 2020, Descubrimiento de antibióticos mediante ordenadores. *AmbioCiencias*, 18, 99-101. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Tenemos la suerte, además, de que hay una familia de proteínas pequeñísimas (compuestas de 10-50 aminoácidos), llamados péptidos antimicrobianos, que están conservados a lo largo del árbol de la vida y que constituyen patrones excelentes para el desarrollo de nuevos antibióticos.

Llegó un punto en el que ya habíamos acumulado suficiente información acerca de los péptidos para dar el salto de entender estas moléculas a poder controlarlas de manera precisa, predecible, y programable en el laboratorio. El siguiente paso implicaría optimizar el control del diseño de estos péptidos, y posteriormente enseñar a los ordenadores esta información para así permitir que ellos se encargasen del descubrimiento de nuevas medicinas. Además, la biología molecular de entonces se me asemejaba demasiado a un libro de recetas que dejaba poco espacio para la creatividad. Pensé que, si conseguíamos construir máquinas capaces de diseñar moléculas nuevas, nosotros, los humanos, podríamos dedicarnos más a pensar.

Motivado por estas ideas, me fichó el MIT (2015), la meca de entonces para la implementación de la biología sintética y la ingeniería informática para el desarrollo de nuevas tecnologías. De nuevo tuve suerte durante este tiempo, ya que recibí una beca de la Fundación Ramón Areces para poder desarrollar mis ideas de manera independiente. Éstas maduraron al mismo tiempo que el poder computacional disponible, y se empezaba a vislumbrar que los ordenadores iban a revolucionar la biología por su capacidad de procesar bases de datos enormes. Había una necesidad imperiosa de aplicar estos avances tecnológicos al descubrimiento de nuevos antibióticos, un desafío monumental.

Mi primer objetivo fue conseguir controlar de manera precisa estos péptidos. Pronto progresamos en nuestro entendimiento, a nivel molecular, de la relación estructura-función de los péptidos. Habíamos conseguido un nivel de control razonable sobre un sistema biológico, en este caso una proteína diminuta. Como dijo Richard Feynman “Lo que no puedo crear, no lo entiendo”. En este caso, al crear estas moléculas en el laboratorio, de algún modo comenzamos a entenderlas de verdad.

Estábamos listos para completar el ciclo para poder entender-controlar-computerizar estas moléculas. Nos centramos en desarrollar antibióticos creados mediante ordenadores. Llegamos a la idea fundamental de emplear el algoritmo de la teoría de la evolución de Darwin para diseñar los péptidos computacionalmente, ya que pensamos que la mejor manera de diseñar e innovar nuevas moléculas era siguiendo los mismos principios que han servido para optimizar la vida durante millones de años de evolución. Los péptidos generados por ordenador no solo mataron a bacterias *in vitro* pero también en modelos animales de

interés preclínico, abriendo un campo nuevo para el diseño de antibióticos por ordenador.

Después, me reclutó la University of Pennsylvania (UPenn), que me ofreció una plaza de catedrático (Presidential Professorship Chair) para continuar progresando estas ideas y para fundar el Machine Biology Group, que actualmente lidero. Mi grupo es altamente interdisciplinar y combina nociones y conceptos de campos diversos como la microbiología, biología sintética, química, física e ingeniería informática. Uno de nuestros objetivos principales actualmente es usar ordenadores para desarrollar nuevas clases de antibióticos que puedan reemplazar a los antibióticos actuales que en muchos casos ya no funcionan. Entre otras cosas, también estamos trabajando en una nueva prueba de diagnóstico rápido y barato para Covid-19. Desde hace décadas, no se han descubierto nuevos antibióticos y las bacterias cada vez son más resistentes a los antibióticos que tenemos disponibles. La última proyección predice que las superbacterias van a matar a 10 millones de personas al año en 2050 (1 muerte cada 3 segundos) si no desarrollamos nuevas medicinas. Nuestra motivación principal es proporcionar soluciones a las infecciones resistentes a antibióticos que van camino de convertirse en la principal causa de muerte en nuestra sociedad.



Figura 1. César de la Fuente Núñez.

MI PROYECTO DE TESIS

Transmisión de la toxicidad del bisfenol A por vía paterna: alteraciones espermáticas y fallos en el desarrollo embrionario

Marta Lombó Alonso

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

El imparable avance de la industria y la tecnología, así como el aumento exponencial de la población en los últimos siglos, ha dado lugar a cambios medioambientales sin precedentes en la historia. Estas perturbaciones son, en parte, consecuencia de la producción de enormes cantidades de determinadas sustancias químicas y contaminantes de otra naturaleza que ponen en riesgo tanto el ecosistema como la salud de los seres vivos (Petrie *et al.*, 2014). Uno de los contaminantes que mayor interés ha despertado tanto para las agencias internacionales de seguridad como para numerosos estudios científicos es el bisfenol A (BPA; 2,2-bis(4-hidroxifenil)propano) (Erlor y Novak, 2010). Este compuesto se usa principalmente para la producción de resinas epoxi y de plásticos de policarbonato, por lo que es comúnmente utilizado para la fabricación de productos de uso diario como las latas de bebida y comida, los tupperware, el papel térmico de los tickets de compra, las lentillas, los selladores dentales, los dispositivos electrónicos y el material quirúrgico (Vandenberg *et al.*, 2007). Por este motivo, tanto los animales salvajes como domésticos, así como los seres humanos, están cada vez más expuestos al BPA por vía oral, contacto dérmico o inhalación (Qiu *et al.*, 2016; MacKay y Abizaid, 2018).

El BPA fue descrito como disruptor endocrino por primera vez en los años 30 al demostrarse su actividad estrogénica (Dodds y Lawson, 1936). Asimismo, se considera un agente genotóxico al producir estrés oxidativo, activando varias proteínas involucradas en la respuesta al daño en el ADN (Ciccia y Elledge, 2010). Más recientemente se ha descrito que el BPA puede promover cambios en la expresión génica, heredables tanto mitóticamente como meióticamente, sin afectar a la secuencia de ADN, por lo que también es considerado como agente epigenotóxico (Feil y Fraga, 2012).

Forma de mencionar este artículo: Lombó Alonso, M. 2020, Transmisión de la toxicidad del bisfenol A por vía paterna: alteraciones espermáticas y fallos en el desarrollo embrionario. AmbioCiencias, 18, 102-105. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

Teniendo en cuenta que la espermatogénesis es dependiente de hormonas y que, durante su trascurso, la cromatina sufre grandes cambios estructurales, resulta evidente que este proceso puede ser especialmente sensible al BPA. Efectivamente, varias investigaciones han confirmado que este tóxico puede alterar la capacidad reproductora masculina (Rochester, 2013; Manfo *et al.*, 2014). Sin embargo, ante la ausencia de evidencias científicas sobre las consecuencias de la exposición paterna a BPA en las generaciones futuras, este proyecto de Tesis se basó en: i) analizar el impacto de la exposición paterna a BPA en el desarrollo embrionario, y ii) establecer los mecanismos moleculares por los cuales la exposición directa o paterna a BPA es capaz de alterar el desarrollo embrionario.

A lo largo del presente trabajo se ha utilizado el pez cebrá como especie modelo (**Fig. 1**), si bien una parte de los experimentos se realizaron en células cardíacas de mamífero en proceso de diferenciación. Los resultados obtenidos han demostrado que el factor paterno resulta clave en el desarrollo embrionario. Por un lado, el elevado daño en el ADN espermático inducido por la exposición a BPA ha sido relacionado con la incapacidad de los embriones de la F1 de progresar con su desarrollo; y por otro, tanto la reducción de ciertos transcritos del espermatozoide, como las epimutaciones producidas en estas células, han sido asociadas con fallos en el proceso de cardiogénesis de la descendencia. De igual forma, se ha establecido que la severidad de los efectos mencionados anteriormente depende de la ventana de exposición al tóxico, siendo la exposición a

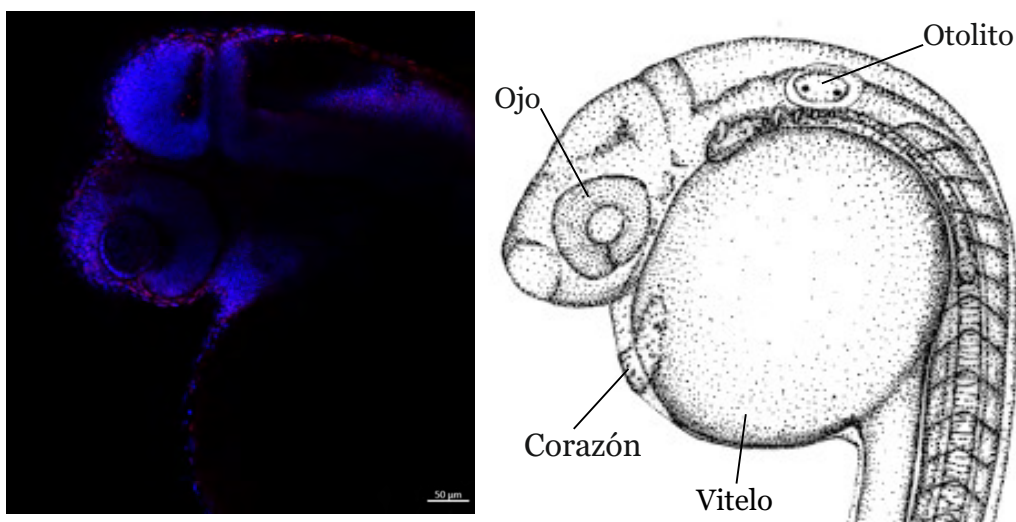


Figura 1. Imagen de la parte anterior de una larva de pez cebrá al microscopio confocal (barra de escala= 50 µm) y dibujo correspondiente rotulado a la izquierda (modificado de Kimmel *et al.* (1995). En azul se muestran los núcleos teñidos con DAPI y en naranja la histona 3 acetilada en la lisina 27, una marca epigenética fundamental durante el desarrollo embrionario.

BPA durante el período de migración de las células primordiales germinales (vida embrionaria) mucho menos perjudicial que la exposición durante la espermatogénesis (vida adulta), especialmente si los procesos de meiosis y espermiogénesis resultan afectados.

Por último, se ha propuesto el uso del epigallocatequín galato (EGCG), un compuesto del té verde, como sustancia capaz de revertir los efectos nocivos derivados de la exposición embrionaria y paterna a BPA, al ejercer su actividad anti-estrogénica y al revertir ciertas epimutaciones, respectivamente.

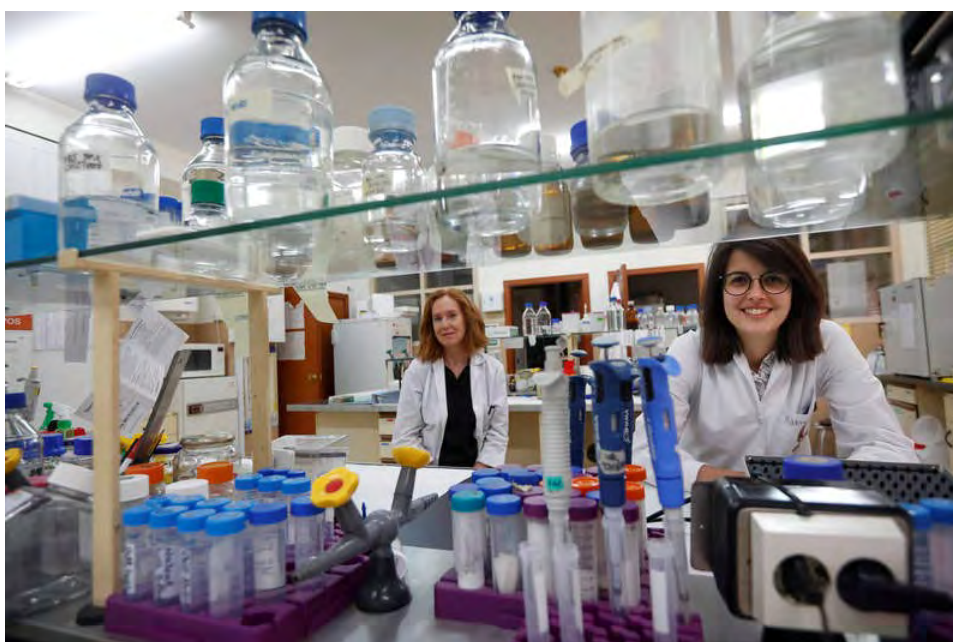


Imagen de la Dra. Marta Lombó a la derecha junto a su directora de Tesis, la Dra. Paz Herráez, a la izquierda.

Bibliografía

- Ciccia, A. y Elledge, S.J. 2010. The DNA damage response: making it safe to play with knives. *Molecular Cell* 40:179-204
- Dodds, E.C. y Lawson, W. 1936. Synthetic oestrogenic agents without the phenanthrene nucleus. *Nature* 137: 996
- Erler, C. y Novak, J. 2010. Bisphenol a exposure: Human risk and health policy. *Journal of Pediatric Nursing* 25:400-407
- Feil, R. y Fraga, M.F. 2012. Epigenetics and the environment: Emerging patterns and implications. *Nature Reviews Genetics* 13:97-109
- Kimmel, C.B., Ballard, W.W., Kimmel, S.R., Ullmann, B. y Schilling, T.F. 1995. Stages of embryonic development of the zebrafish. *Developmental Dynamics* 203:253-310



- MacKay, H. y Abizaid, A. 2018. A plurality of molecular targets: The receptor ecosystem for bisphenol-A (BPA). *Hormones and Behavior* 101:59-67
- Manfo, F.P.T., Jubendradass, R., Nantia, E.A., Moundipa, P.F. y Mathur, P. 2014. Adverse effects of bisphenol a on male reproductive function. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 228:57-82
- Petrie, B., Barden, R. y Kasprzyk-Hordern, B. 2014. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research* 72:3-27
- Qiu, W., Zhao, Y., Yang, M., Farajzadeh, M., Pan, C. y Wayne, N.L. 2016. Actions of bisphenol A and bisphenol S on the reproductive neuroendocrine system during early development in zebrafish. *Endocrinology* 157:636-647
- Rochester, J.R. 2013. Bisphenol A and human health: A review of the literature. *Reproductive Toxicology* 42:132-155
- Vandenberg, L.N., Hauser, R., Marcus, M., Olea, N. y Welshons, W. V. 2007. Human exposure to bisphenol A (BPA). *Reproductive Toxicology* 24:139-177

EDUCANDO EN LO NUESTRO

Prácticas de alto impacto y aprendizaje activo para la adquisición de competencias específicas en botánica

Carmen Acedo¹, Estrella Alfaro-Saiz, Yasmina Alonso, Ana B. Fernández-Salegui, Darío Fernández-Santos, Graciela González-Sierra, Carmen Lence, Raúl Lois, Alicia Pérez-Llamazares, Sara Santamarina, Sonia Trobajo

Grupo de Innovación Docente ACBoSCo, Dpto. de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Área de Botánica, Facultad de CC. Biológicas y Ambientales. Universidad de León, E-24007. León.

1. c.acedo@unileon.es

Resumen

Una gran variedad de tareas cooperativas y de aprendizaje activo son parte de las actividades formativas de las asignaturas en las que estamos involucrados los profesores del Grupo de Innovación Docente para la Adquisición de Competencias en Botánica Sistemática y Conservación (GID ACBoSCo). Cada actividad se organiza y construye para incentivar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje, así como para ayudar a desarrollar habilidades útiles para su futuro profesional (docente, técnico o de investigación). La organización y la planificación de estas tareas, son vitales, al igual que trabajar en grupos pequeños y los incentivos adecuados para completarlas. Entre las actividades destacadas, las tareas de aprendizaje servicio, como la preparación de materiales formativos que se ponen a disposición del curso, el diseño de actividades virtuales de laboratorio, para conocer, aunque sea de forma básica, protocolos específicos a distancia, la gamificación, para despertar interés y curiosidad por las disciplinas, u otras actividades educativas de alto impacto como la formación avanzada con expertos, actividades al aire libre, o tareas de microlearning, complementan la formación tradicional, y resultan esenciales. Además, muchas de estas actividades demostraron ser una herramienta potente para adaptar algunos contenidos de las asignaturas al entorno formativo virtual y con ello poder hacer frente a la docencia Covid-19 fomentando el aprendizaje activo de los alumnos, lo que se puso de manifiesto en los excelentes resultados obtenidos en estas asignaturas.

Palabras clave: botánica, Covid-19, gamificación, materias STEM, microlearning, prácticas en línea.

Introducción

Las prácticas de alto impacto (HIP) y aprendizaje activo (AA) son un conjunto de actividades formativas de enseñanza y aprendizaje cuya repercusión positiva en los estudiantes se ha demostrado mediante investigaciones sobre edu-

Forma de mencionar este artículo: Acedo, C., Alfaro-Saiz, E., Alonso, Y., Fernández-Salegui, A.B., Fernández-Santos, D., González-Sierra, G., Lence, C., Lois, R., Pérez-Llamazares, A., Santamarina, S., Trobajo, S. 2020, Prácticas de alto impacto y aprendizaje activo para la adquisición de competencias específicas en Botánica. *AmbioCiencias*, 18, 106-120. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

cación (Kuh, 2008). Desde hace unos años nos venimos cuestionando por qué los estudiantes de biología, muestran poco interés por materias esenciales cuyo conocimiento es básico tanto en el desarrollo de la propia disciplina, como en otras, y además vertebra los contenidos de muchas titulaciones relacionadas con el medio natural: es el caso de estudiantes de los Grados en Biología, Ciencias Ambientales, o Ingeniería Forestal y del Medio Natural, y es fundamental en materias de los Grados en Educación Infantil (Medio Ambiente y Sostenibilidad), Educación Primaria (Ciencia, Tecnología y Ambiente), Educación Social (Medio Ambiente y Educación) o en Másteres universitarios, como Estudios Avanzados en Flora y Fauna, Riesgos Naturales o el Máster de Educación.

Cada vez son más comunes las propuestas didácticas basadas en recursos tecnológicos orientados al aprendizaje de la botánica (Wo Ching Wong, 2019) y más concretamente, al uso de herbarios (Avalos *et al.*, 2011; Flannery, 2013). Se trata de una actividad muy útil para el apoyo de la docencia presencial (Alfaro *et al.*, 2019) pero que, además, se presenta como una herramienta muy valiosa para complementar la docencia a distancia y/o adaptarla a las exigencias de la actual pandemia.

La gamificación es una de las metodologías activas más populares en el ámbito de la enseñanza. Consiste en el uso de conceptos, técnicas y dinámicas propias de los juegos en contextos no lúdicos (Deterding *et al.*, 2011). Entre las múltiples propuestas destacan los *EscapeRooms* o los *Breakouts* (una variante de los mismos), juegos inmersivos con un hilo conductor en los que un grupo de personas son encerradas en una sala de la que deben escapar trabajando en equipo en la resolución de enigmas y acertijos, antes de que termine el tiempo disponible (Rosales-Peláez *et al.*, 2019).

Está documentado que, a pesar de que son esenciales para nuestra propia existencia, muchas personas solo ven las plantas como un marco/escenario en el que se desarrolla la vida en la Tierra (Knap, 2019; Acedo *et al.*, 2019; Acedo, 2020). Por ello para describir esta actitud y llamar la atención sobre la reducción en la atención a las plantas en la educación se acuñó el término "ceguera por las plantas" (Wandersee & Schussler, 1999). Algunos autores consideran que este es un problema más generalizado, que abarca cualquier organismo que no sea un vertebrado (como nosotros), pero no cabe duda, que combatir la ceguera por las plantas es un buen punto de partida para comenzar a mejorar la educación, la conciencia y el cuidado de los otros organismos con los que compartimos el planeta y en ello incidimos en nuestro grupo de innovación docente.

En el GID-ULE ACBoSCo organizamos anualmente diversas actividades de Enseñanza-Aprendizaje Activo (AA+) en Ciencias, combinadas con otras me-

todologías (Aprendizaje basado en Proyectos ABP, Aprendizaje-Servicio AS, etc.). Son actividades formativas programadas en asignaturas dirigidas a la formación y adquisición de competencias de estudiantes de Grado (semestres avanzados: 3º y siguientes) y Máster. Además, colaboramos en la formación, preferentemente práctica, en otros niveles educativos con el fin de fomentar el interés por carreras STEM (*Sciences, Technology, Engineering, Mathematics*) y en particular, aquellas que profundizan en el estudio de la biodiversidad. Este último curso, 2019-20, se hizo más necesario que nunca, llamar la atención sobre los grupos objeto de estudio, al tener que prescindir de actividades, como las prácticas en campo, esenciales en cualquier disciplina que se refiere al medio natural.

Actividades de Aprendizaje Activo en ACBoSCo

Resumimos a continuación algunas de las actividades implementadas en el GID ULE ACBoSCo tanto con alumnos de Grado y Máster, como de niveles preuniversitarios.

Aprendizaje Activo en las Jornadas de Prácticas de Gestión de Flora

Fomentar el aprendizaje activo de estudiantes de Grado y Máster, que adquieren o refuerzan competencias colaborando en diversas actividades que se llevan a cabo en el GID para incentivar la vocación científica (AA, AS), a la vez que participan en la elaboración y desarrollo de la propia formación: es el enfoque desde el aprendizaje colaborativo, en el que mediante tareas en grupo, además de adquirir la formación que requiere una disciplina, se cumple el objetivo de aprender a trabajar y resolver problemas en compañía de otros. En este sentido, y a modo de ejemplo destacamos la organización de siete ediciones de las Jornadas de Prácticas de *Gestión de Flora* (**Fig. 1**) durante los cursos 2013-14 al 2019-20, desarrollándose en este último curso de forma virtual, por coincidir con el periodo de confinamiento Covid-19; hasta la colaboración de estudiantes interesados, en proyectos e investigaciones cooperativas, en las que toman contacto con técnicas de trabajo, protocolos y líneas de investigación no previstas, al menos con esa profundidad, entre las competencias de los estudios.

ActivaLEB: Actividad formativa de Aprendizaje Servicio (AS)

Para documentar la biodiversidad se requieren imágenes digitales, que muestren todas aquellas características esenciales, que permitan una identificación certera. Es necesario que las fotografías contengan toda la información posible sobre las especies para que muestren sus características de la manera más eficiente y sirvan a estudiantes, expertos y otras personas a identificar correc-



Figura 1. Grupo de estudiantes participantes en las VI Jornadas de Prácticas de Gestión de Flora celebradas durante el curso 2018-19. Las VII JPGFLO se celebraron en formato virtual

tamente la especie. Los herbarios científicos son una importante fuente de recursos de apoyo a la investigación y a la docencia, susceptibles de utilizarse para numerosos objetivos y en diversos ámbitos (Funk, 2007). Se encuentran asociados a instituciones científicas o educativas e incluyen colecciones naturales muy valiosas, aunque públicas de uso restringido. Por ello, utilizar las colecciones que albergan con objetivos docentes, requiere la búsqueda de opciones alternativas a la manipulación reiterada. En la dinámica de aprendizaje activo del grupo de innovación, el herbario del estudiante es una herramienta imprescindible para implicar y motivar a los estudiantes y adquirir competencias. ActivaLEB es un proyecto de aprendizaje colaborativo activo basado en el desarrollo de un herbario docente digital de referencia para los estudiantes de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León en colaboración con el Herbario LEB Jaime Andrés Rodríguez, que alberga diversas colecciones científicas. Consiste en una colección de fotografías en línea que ilustran los grupos botánicos objeto de estudio en asignaturas de Grado y Máster. Esta colección fotográfica es desarrollada por estudiantes y asesorada tanto por los profesores de las asignaturas implicadas como por el personal del Herbario. Con ello se renovará el desaparecido “Herbario digital – Botánica en la Web” del que procede una importante base documental inicial de más de 1000 imágenes, con detalles característicos y aspectos microscópicos de los grupos botánicos. La dinámica consiste en (**Fig. 2**): las fotografías, tomadas en el campo durante las prácticas o durante el desarrollo del curso, se ordenan taxonómicamente y la colección puede complementarse, además, con imágenes de muestras de las

colecciones científicas del Herbario LEB. Como objetivo, perseguimos la adquisición de competencias específicas y habilidades necesarias para el estudio de la biodiversidad y en paralelo, competencias transversales relacionadas con herramientas digitales y otras como Colaboración, Creatividad, Comunicación, Ciudadanía, educación del Carácter y pensamiento Crítico, (conjunto de habilidades conocidas como competencias “6C”). La fortaleza principal de este proyecto es el beneficio que obtienen los participantes, que adquieren conocimientos de taxonomía botánica y además, elaboran un producto útil en su formación que genera un recurso para la comunidad universitaria (aprendizaje-servicio), incluso para generaciones venideras.

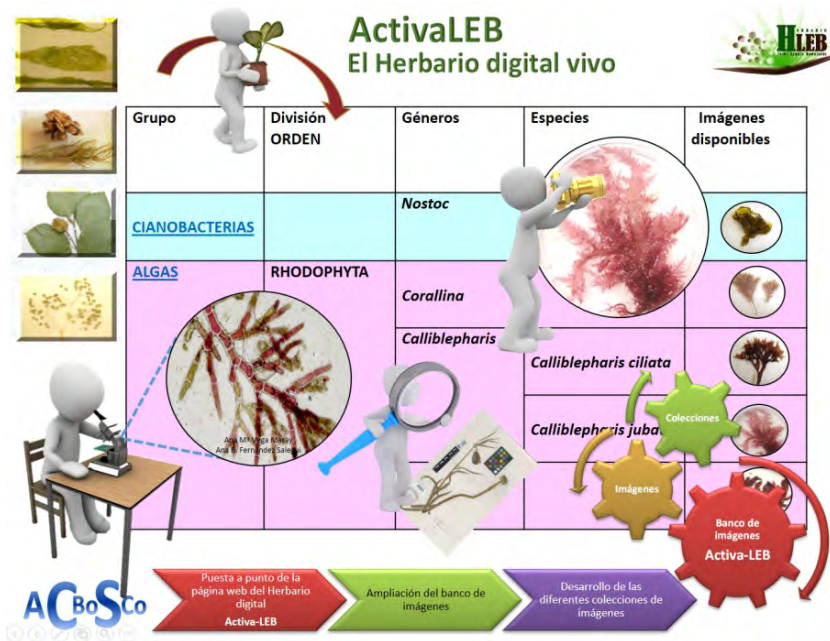


Figura 2. Esquema-presentación de la web y flujo de trabajo del proyecto colaborativo de Aprendizaje – servicio ActivaLEB, un herbario digital vivo

Incentivando materias y estudios STEM en niveles preuniversitarios: El Bachillerato de Investigación - Excelencia en Ciencias

El Bachillerato de Investigación-Excelencia (BIE) es un proyecto formativo regulado en Castilla y León por la Orden EDU/551/2012 de 9 de julio, que en la Universidad de León (ULE) está vinculado al Convenio Marco suscrito entre la Junta de Castilla y León y la ULE, y al convenio específico de colaboración establecido desde 2013, el que, dada la importancia de la oferta educativa y en cumplimiento del Art. 3 de la Orden EDU/443/2016, se renovó recientemente para dar continuidad al proyecto. En la provincia de León se desarrollan 3 de los 21 proyectos BIE de Castilla y León, uno de ellos, es el del IES Gil y Carrasco en el Campus de Ponferrada. El BIE se programa, igual que otras enseñanzas univer-

sitarias, coordinando desde el GID ACBoSCo cuatro departamentos, ocho áreas de conocimiento, veinte profesores universitarios y nueve del IES, que colaboran en el desarrollo de las actividades formativas de este bachillerato, tanto de las actividades complementarias en el primer curso BIE (**Fig. 3**) como diseñando o tutorando los proyectos de investigación en 2º curso. Todas las actividades formativas se gestionan en dos cursos de la plataforma educativa externa de la ULE Moodle Ariadna. El BIE ha sido cursado, hasta el momento, por 84 alumnos entre 2014-15 y 2019-20, incluidos los 18 están matriculados en 2º año BIE y realizarán su proyecto de investigación este curso y 15 nuevos estudiantes han optado por esta modalidad de bachillerato y se incorporaron en este curso 2020-21 para la realización de las actividades formativas de primer curso BIE. El proyecto, pone a disposición de los alumnos recursos y posibilidades que les permitan habituarse a la investigación como principio esencial y adquirir una formación actualizada que les estimule para los máximos retos en sus posteriores estudios universitarios (Acedo & González Sierra, 2020).



Figura 3. Grupo de trabajo de estudiantes BIE (1º de Bachillerato) durante una práctica fuera del entorno educativo: Módulo Botánica: Simulacro de Censo de especies amenazadas

Prácticas virtuales en tiempos del Covid-19

Adaptar las actividades formativas clásicamente presenciales a la docencia en línea en tiempo récord, como consecuencia de la pandemia del Covid-19, supuso uno de los mayores desafíos para la docencia en los últimos tiempos. En el GID diseñamos actividades virtuales que garantizaron a los alumnos la adquisición de competencias propias de las sesiones de laboratorio, pero también de competencias transversales como las 6C, mediante tareas colaborativas y de aprendizaje-servicio (AS). Las metodologías diseñadas están destinadas a ser impartidas en diversas asignaturas de Botánica, pero son extrapolables a otras

de titulaciones diversas del ámbito de las Ciencias, en particular, aquellas relacionadas con la diversidad y conservación de especies.

Para practicar y adquirir habilidad en la identificación científica de especies, trabajamos con problemas o “QUIZs botánicos”, proporcionando imágenes con la información taxonómica necesaria para la identificación con claves, y procurando que se observaran en detalle todos los caracteres vegetales necesarios para llevar a cabo la identificación (**Fig. 4**). Este material, sustituyó la disección en laboratorio que requiere la identificación avanzada de muestras. Como complemento, una vez que los estudiantes se familiarizaron con la dinámica, y si tenían acceso a muestras en su entorno, colaboraron en la preparación del grupo de fotografías científicas necesarias para identificar una especie, que pusieron a disposición de sus compañeros. La colección final de QUIZs o problemas botánicos, presentados y resueltos para cada sesión práctica semanal, constituyó un especial “Herbario del alumno”, y el contenido de la prueba práctica de reconocimiento. En otras materias, estos problemas botánicos sirvieron para valorar la capacidad de los estudiantes, para reconocer caracteres diagnósticos a medida que avanzaba su formación botánica, por ejemplo, Botánica, Botánica Avanzada y Aplicada y Botánica Forestal, de los Grados en Ciencias Ambientales, Biología e Ingeniería Forestal y del Medio Natural respectivamente. Con estas tareas alternativas, los estudiantes prepararon contenidos de la asignatura, adquirieron competencias básicas relacionadas con el manejo y preparación del material para su observación, practicaron la identificación científica y el reconocimiento de especies, y elaboraron un banco de imágenes para las sesiones y pruebas prácticas (Fernández-Salegui *et al.*, 2020).

Gamificación: *Escape Room* y *Breakout*

Dado el gran interés que suscitan las actividades de gamificación entre el alumnado, así como las múltiples ventajas que reportan (desarrollo de competencias transversales, fomento del aprendizaje activo y significativo, mejora de la participación, etc.), desde el GID, hemos puesto en marcha durante el curso 2019-2020 un proyecto para comparar los resultados entre utilizar una metodología *Breakout* “Líquenes: decodificadores del entorno” (**Fig. 5**) frente a otra más tradicional en la enseñanza de los líquenes y sus aplicaciones. Con este *Breakout* virtual se retó a los alumnos de 4º curso de los Grados en Educación Social y Educación Primaria a buscar la documentación que acredita dónde es seguro construir un área residencial tras el análisis de la calidad del aire a través de los líquenes. Dichos documentos se habían perdido por la Facultad de Biología y debían buscarlos a través de la resolución de diferentes enigmas escondidos



Figura 4. Parte de un problema sencillo de botánica de identificación virtual – prácticas Covid -19, para el estudio de caracteres taxonómicos, el entrenamiento en la identificación con claves, y el reconocimiento de especies. Se muestran los detalles necesarios para identificar el madroño: *Arbutus unedo* L. (Ericaceae). Fuente imágenes (excepto superior derecha) Asociación Flora Catalana URL: <http://www.floracatalana.net/arbutus-unedo-l>

en diferentes escenarios de la Facultad. Los resultados fueron muy positivos y los alumnos participantes se mostraron altamente satisfechos, especialmente con la actividad de *Breakout*, cuya valoración, como era de esperar, en cuanto a interés y disfrute fue considerablemente mayor que para la actividad tradicional de laboratorio, encontrándole además una alta aplicabilidad en su futuro laboral (Trobaño *et al.*, 2020). Con ello se consiguió incentivar el interés de los alumnos por los líquenes, grupo de la biodiversidad que a menudo suele pasar desapercibido, pero cuya importancia y aplicabilidad como indicadores de cambios ambientales (contaminación del aire, cambio climático, fragmentación de los bosques, etc.) puede ponerse de relieve, involucrando al alumno a través de la gamificación, lo cual puede hacerse extensible a otros organismos botánicos.

Internado de estudiantes en grupos de investigación

Otro tipo de formación activa es el internado de estudiantes en grupos de investigación, que son colaboraciones voluntarias o mediante la participación en residencias de verano con profesores senior, y constituyen complementos excepcionales que en los últimos semestres de formación del estudiante proporcionan experiencias que permiten empezar a aplicar los conocimientos adquiridos durante los estudios reglados, y les ofrecen formación supervisada y *coaching*, que,



Figura 5. Portada inicial del *Breakout* “Líquenes: decodificadores del entorno”

en ocasiones, permiten encauzar o decidir el tema de sus trabajos fin de estudios, e incluso iniciar y tomar contacto con técnicas y protocolos que tendrán que aplicar durante su trabajo (**Fig. 6**).



Figura 6. Muestreo y seguimiento de Flora Amenazada como actividad formativa de alto impacto: con la colaboración de personal investigador en formación y estudiante de Grado. Entre las competencias que fomentan: la práctica de metodologías de muestreo avanzado para tareas de investigación, o el conocimiento de la diversidad vegetal, además del interés y responsabilidad hacia el medio natural

Actividades educativas al aire libre (AA+ AS)

Las actividades educativas al aire libre son preferibles para enseñar identificación y conceptos botánicos, y a pesar del esfuerzo que supone desde el punto

de vista docente, seguimos utilizándolas como actividad esencial en la formación. Existen diversas tareas que realizamos entre grupos colaborativos de profesores, como los muestreos para la elaboración del herbario del estudiante, muestreos científicos dirigidos (**Fig. 7**), o trabajos académicos adaptados al nivel (semestre en que se imparte la materia) en la que grupos colaborativos de estudiantes realizan trabajos con un componente práctico importante. Son importantes las visitas formativas científico-técnicas a centros de interés, donde profesionales expertos muestran su actividad o tareas como el BioBlitz “Botánico por un día” en el que los estudiantes de Grado y Máster participan como monitores-instructores de grupos en niveles educativos previos. En estas tareas, los estudiantes de Grado o Máster son formados e instruidos por sus profesores en los contenidos que forman parte de las asignaturas de su currículo, y posteriormente ellos realizan un servicio a la comunidad, desarrollando actividad práctica fuera del entorno formativo habitual.



Figura 7. Momentos durante prácticas de muestreo en campo, dirigida por el Profesor Félix Llamas, miembro del GID ULE ACBoSCo, con el objetivo de la elaboración del Herbario del Alumno, herramienta esencial para complementar las actividades teóricas en la asignatura Botánica Avanzada y Aplicada

Otras Actividades formativas AA+ en ACBoSCo

Otras tareas formativas complementarias consistieron en la preparación de informes técnicos individuales, basados en el manejo de información específica, tanto documental como recursos digitales, la difusión de resultados mediante “vídeos domésticos”, una alternativa a la tradicional exposición de trabajos, y la elaboración de una síntesis conjunta de difusión de los trabajos individuales, mediante un póster colaborativo en el que participó todo el alumnado del curso de Biología de la Conservación, asignatura optativa del octavo semestre del Grado en Biología.

Ciencia y divulgación

Divulgar la ciencia persigue la transferencia de conocimiento, mediante su difusión a la sociedad, para lo que se diseñan actividades y tareas adaptadas al público a quien van dirigidas. Es el caso de las “Ferias de Aprendizaje” donde se toma contacto con plantas, hongos u otros grupos de la biodiversidad, o la colaboración en los Campus Científicos de verano para estudiantes de educación primaria (E.P.) (**Fig. 8**) o bachillerato. Talleres como “Identificando seres vivos en la Universidad” están orientados a favorecer la motivación por estudios STEM y el aprendizaje: en ellos los alumnos se familiarizan con la identificación científica de muestras y observan estructuras de diferentes grupos de organismos con microscopía óptica (desde bacterias simbiotes y fotosintéticas, a los hongos, algas y plantas) que no tienen la oportunidad de estudiar en las instalaciones de su centro de estudio habitual.



Figura 8. Talleres como “¿Conocemos la biodiversidad?” (Bachillerato) o el mostrado en la imagen “Biodiversidad mágica” (E.P.) acercan en conocimiento de la extensa diversidad botánica (algas, hongos y plantas) a estudiantes de diversos niveles formativos

Cada taller se adecúa a un nivel diferente de dificultad. Durante la XVI Semana de la Ciencia en Castilla y León (que coordinó el Parque Científico Universidad de Valladolid), se desarrollaron los talleres “Biodiversidad mágica” (E.P.) y “¿Conocemos la biodiversidad?” (bachillerato) con el objetivo de acercar la universidad a los estudiantes y ofrecerles la posibilidad de estudiar la biodiversidad vegetal a partir de ejemplos fascinantes de las colecciones docentes de Botánica del Campus de Ponferrada.

En el *Escape Room* “Botánico por un día” con el lema “conocer para conservar” organizamos una actividad alrededor del árbol de la vida (**Fig. 9**), para mostrar el interés de conservar los hongos, algas y plantas para conseguir un

mundo sostenible, y mostrar nuestra preocupación por la situación actual de la biodiversidad, y cómo trabajamos en la catalogación y evaluación del estado de conservación de las especies. Mediante esta actividad de gamificación se consigue el acercamiento voluntario del público en general y estudiantes de cualquier nivel educativo a la diversidad botánica y su conservación. En ella, estudiantes de Grado, Máster o Doctorado, participan como monitores-instructores de grupos visitantes en diversas pruebas diseñadas para descubrir características, identificar especies, conocer los métodos del censo científico, o ser capaces de reconocer las amenazas que presionan a las especies, poniendo en riesgo no solo su conservación sino el equilibrio en la naturaleza y nuestra propia seguridad.



Figura 9. Grupo de participantes en el *EscapeRoom* “Botánico por un día: Conocer para conservar” adaptado para la celebración de la Expo-Universidad 2020

Conclusión

Las actividades presentadas demostraron ser potentes herramientas formativas y de especialidad, y algunas permitieron adaptar los contenidos de las asignaturas a un entorno virtual formativo y con ello poder hacer frente a la docencia Covid-19 fomentando el aprendizaje activo de los alumnos, lo que se puso de manifiesto en los resultados obtenidos en estas asignaturas. Hay que mencionar que las tareas de aprendizaje activo, requieren una alta implicación y dedicación tanto de los profesores que las organizan como de los estudiantes en formación, lo que redunda tanto en los resultados como en la autonomía adquirida (**Fig. 10**).

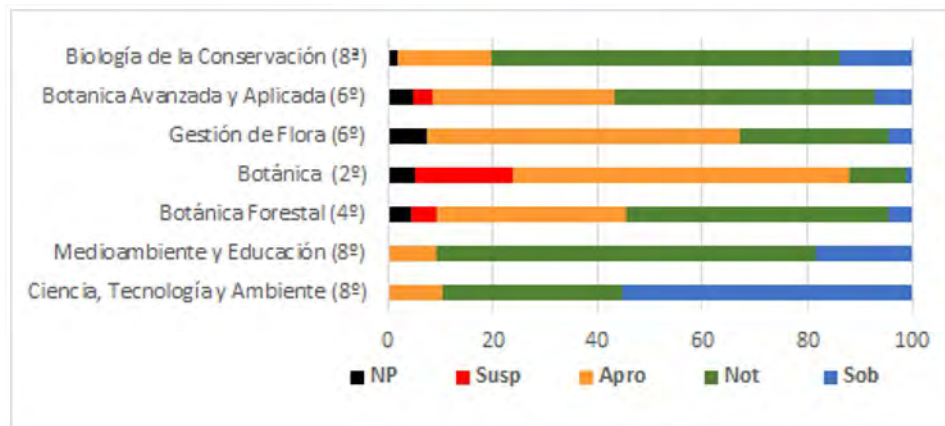


Figura 10. Resultados finales (%) obtenidos por los estudiantes de asignaturas que incorporan aprendizaje activo y enseñanzas virtuales desarrolladas durante el periodo Covid-19 (curso 2019-20). Se indica, entre paréntesis, al lado de cada asignatura, el semestre de Grado en el que se imparte

Todas las actividades comentadas, forman parte de los proyectos permanentes de innovación docente del GID ULE ACBoSCo: tanto las tareas colaborativas de aprendizaje servicio, como las actividades Divulga-Ciencia. Si tu pasión son las plantas, hongos o algas, y quieres formar parte de alguno de estos proyectos, participando como voluntario en nuestro grupo de innovación docente, no dudes en ponerte en contacto con nosotros.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento por su labor continuada a otros miembros del GID que han participado y colaborado permanentemente en todas las actividades formativas organizadas en ACBoSCo: Arsenio Terrón y Félix Llamas, compañeros de la Universidad de León. Para algunas actividades contamos con la disponibilidad e inestimable participación del Servicio Universitario de Investigación de la Universidad de León Herbario LEB Jaime Andrés Rodríguez. Además, colaboradores externos participaron en algunas actividades formativas: Ana Fernández [Jardín Botánico Atlántico de Gijón, Asturias], Ana Molina [IES Gil y Carrasco. Ponferrada, León], Hilda R. Mosquera Mosquera [Universidad del Tolima, Colombia], y a todos los estudiantes participantes de Máster, Grados, y otros niveles educativos.

Bibliografía

Acedo, C. 2020. Plantas y hongos sustento de la vida sobre la tierra en riesgo. Tribuna: Diario de León. URL permanente: articulo/tribunas/plantas-hongos-sustento-vida-tierra-estan-riesgo/202007291043432033823.html



- Acedo, C. y González Sierra, G. 2020. Acercamiento de los alumnos de bachillerato a materias y carreras STEM mediante experiencias de investigación del proyecto Bachillerato de Investigación y Excelencia: Análisis de aprendizajes y resultados. En: *Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. Ed. Dykinson. En prensa
- Acedo C., Alfaro-Saiz, E. y Fernández-Salegui, A.B. 2019. El Aprendizaje Activo (AA+) como herramienta para alcanzar mejor capacitación en Gestión de Flora de estudiantes de Ciencias Ambientales. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. Egea González, F.J., Gázquez Linares, J.J., Molero Jurado, M.M., Simón Márquez, M.M., Martos Martínez, A., Barragán Martín, A.B., Oropesa Ruiz, N.F. y Soriano Sánchez, J.G. Capítulo 30: 371-373. Ed. Dykinson. Madrid. ISBN: 978-84-1324-559-1
- Alfaro-Saiz, E., Fernández-Salegui, A.B. y Acedo, C. 2019. ActivaLEB Herbario digital activo: Herramienta de Aprendizaje Activo y de Servicio. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura* Egea González, F.J., Gázquez Linares, J.J., Molero Jurado, M.M., Simón Márquez, M.M., Martos Martínez, A., Barragán Martín, A.B., Oropesa Ruiz, N.F. y Soriano Sánchez, J.G. Capítulo 37: 445-455. Ed. Dykinson. Madrid. ISBN 978-84-1324-559-1
- Avalos, A., Barrera, A., Gabriel y Galán, J.M., Gallardo, T., Gómez, A., Hernández, J.M., Lahoz, R., López, P., Marcos, N., Martín, L., Moreno, *et al.* 2011. UCM-MACB 2.0: A complutense university virtual herbarium project. *Proceedings of Edulearn*, 11
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. 2011. From game design elements to gamefulness: defining gamification. En ACM (ed.), *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9-15). New York: Association for Computing Machinery
- Fernández-Salegui, A.B., Alfaro-Saiz, E. y Acedo C. 2019. El entorno inmediato como espacio de aprendizaje activo: Bioblizt. En *Innovación Docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. Egea González, F.J., Gázquez Linares, J.J., Molero Jurado, M.M., Simón Márquez, M.M., Martos Martínez, A., Barragán Martín, A.B., Oropesa Ruiz, N.F. y Soriano Sánchez, J.G. Capítulo 36: 433-443. Ed. Dykinson. Madrid. ISBN: 978-84-1324-559-1
- Fernández-Salegui, A.B., Trobajo S., Pérez-Llamazares A., Santamarina S., Alfaro E. y Acedo C. 2020. Docencia práctica de laboratorio en tiempos de la Covid-19: Las fichas botánicas y el banco de imágenes. En: *Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. Ed. Dykinson. En prensa
- Flannery, M.C. 2013. Plant Collections Online: Using Digital Herbaria in Biology Teaching. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*, 39(1), 3-9



- Funk, V. 2007. 100 Uses for a Herbarium: well at least 72. *American Society of Plant Taxonomists Newsletter*
- Heaslip, G., Donovan, P. y Cullen, J. G. 2014. Student response systems and learner engagement in large classes. doi: 10.1177/1469787413514648.
- Knapp, S. 2019. Are humans really blind to plants? *Plants, People & Planet* 1: 164–168. doi.org/10.1002/ppp3.36
- Kuh, G.D. 2008. High-Impact Educational Practices: What They Are, Who Has Access to Them, and Why They Matter. AAC&U eBooks, Curriculum, Faculty, LEAP, Making Excellence Inclusive. ISBN 978-0-9796181-4-7
- Rosales-Peláez, P., Beltrán, F. R., Ruiz-Santaquiteria, M., Díaz-Lorente, V. M., Conde, M. M. y Ramírez, J. 2019. Desarrollo y aplicación de un escape room sobre la tabla periódica. Trabajo presentado en el V Congreso CINAIC, Octubre, Madrid.
- Trobajo, S., Fernández-Salegui, A.B., Pérez-Llamazares, A., Santamarina, S., Alfaro, E. y Acedo, C. 2020. Los líquenes como decodificadores del entorno: breakout vs. metodologías tradicionales. En: *Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. Ed. Dykinson. En prensa
- Wandersee, J.H., y Schussler, E.E. 1999. Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61: 82–86
- Wo Ching Wong, A.V. 2019. Planeta Planta: Una propuesta de apoyo didáctico para los estudiantes de Botánica General de la carrera de Manejo de Recursos Naturales de la Universidad Estatal a Distancia. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica

COMENTANDO LO PUBLICADO

Comentando *El sentido del progreso desde mi obra.* Miguel Delibes Setién, 1975. Discurso de ingreso en la Real Academia Española

Estanislao Luis Calabuig

Catedrático de Ecología Jubilado. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Universidad de León.

*“¿Por qué no traer a la Academia una de las preocupaciones fundamentales,
si no la principal,
que ha inspirado desde hace cinco lustros mi carrera de escritor?”
Miguel Delibes Setién, 1975*

Introducción

Con este tipo de interrogantes justifica Miguel Delibes dedicar su discurso de ingreso en la Real Academia Española (Delibes, 1975) *a la protesta contra la brutal agresión a la Naturaleza que las sociedades llamadas civilizadas vienen perpetrando mediante una tecnología desbridada* (r.e. 1) (**Fig. 1**).

Quizá sea pertinente, antes de proseguir con el comentario, argumentar algunas razones que me han inducido a incluir este análisis en este momento. Una de ellas está relacionada con la oportunidad, ya que el pasado 17 de octubre de 2020 se celebraban los cien años del nacimiento del insigne escritor y periodista. Otra se explica por su tenaz defensa de los valores ambientales, pero, ¿por qué dedicarlo, precisamente con ese contenido, al discurso de ingreso en la RAE y no a cualquier otra obra de su extensa producción? La oración solemne de incorporación de los académicos es de libre elección, y precisamente el tema que se elige suele estar precedido de una meditada exploración de posibilidades y de una razonada conclusión. Cualesquiera que fueran esos prolegómenos, la decisión final fue dedicarla al *sentido del progreso*. Progreso que se puede asimilar, en la terminología actual a desarrollo, término científico que ha ocupado una gran parte de las preocupaciones de los científicos que dedican su estudio e investigación al medio ambiente desde cualquiera de sus posibles vertientes. Por lo tanto, de plena actualidad en el desarrollo de los objetivos y competencias de una Facultad como la de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León. Resulta muy atractivo para nosotros, los que estamos implicados en el

Forma de mencionar este artículo: Luis Calabuig, E. I. 2020, Comentando El sentido del progreso desde mi obra. Miguel Delibes Setién, 1975. Discurso de ingreso en la Real Academia Española. AmbioCiencias, 18, 121-134. ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.

estudio de los sistemas naturales, que un escritor consagrado presentara un tema específicamente enfocado en su oratoria a la denuncia del impacto del desarrollo en las relaciones entre la Especie Humana y la Naturaleza, e impregnado de instrucciones para tratar de entender el funcionamiento de la Naturaleza.



Figura 1. Portada de la memoria del discurso de ingreso en la Real Academia Española de Miguel Delibes (izquierda.); Durante su discurso en la toma de posesión de la silla “e” (Centro) [Fuente: f.1]; Portada del libro publicado en 1979 con el contenido del discurso y bajo el título “Un mundo que agoniza” (derecha) [Fuente: Delibes, M. 1979]

Algunos críticos de la obra de Delibes han comentado que eran más frecuentes sus denuncias a través de sus personajes de ficción como novelista, que de forma directa como periodista. Sin embargo, en este discurso de incorporación a la RAE, tales declaraciones quedan rebatidas, ya que el objetivo fundamental fue precisamente hacer una llamada de atención rigurosa y fiel de lo que estaba ocurriendo en nuestro planeta.

Tampoco hay que olvidar que el discurso fue leído el 25 de mayo de 1975, hace ahora 45 años y, sin embargo, de plena actualidad si su lectura se hiciera sin conocer la fecha. Por esta razón es absolutamente capital e imprescindible contextualizar el momento en que se proclamaron y las condiciones ambientales y sociales en las que se desenvolvía la humanidad en ese momento.

Contextualización

Cuando ve la luz ese compromiso público y directo de Delibes con la conservación del medio ambiente, ante un auditorio tan notable, la sociedad internacional encendía las primeras alarmas por evidencias en los efectos negativos de un progreso industrial que disparaba los consumos energéticos de todas las partidas impuestas por un desarrollo acelerado (**Fig. 2**).

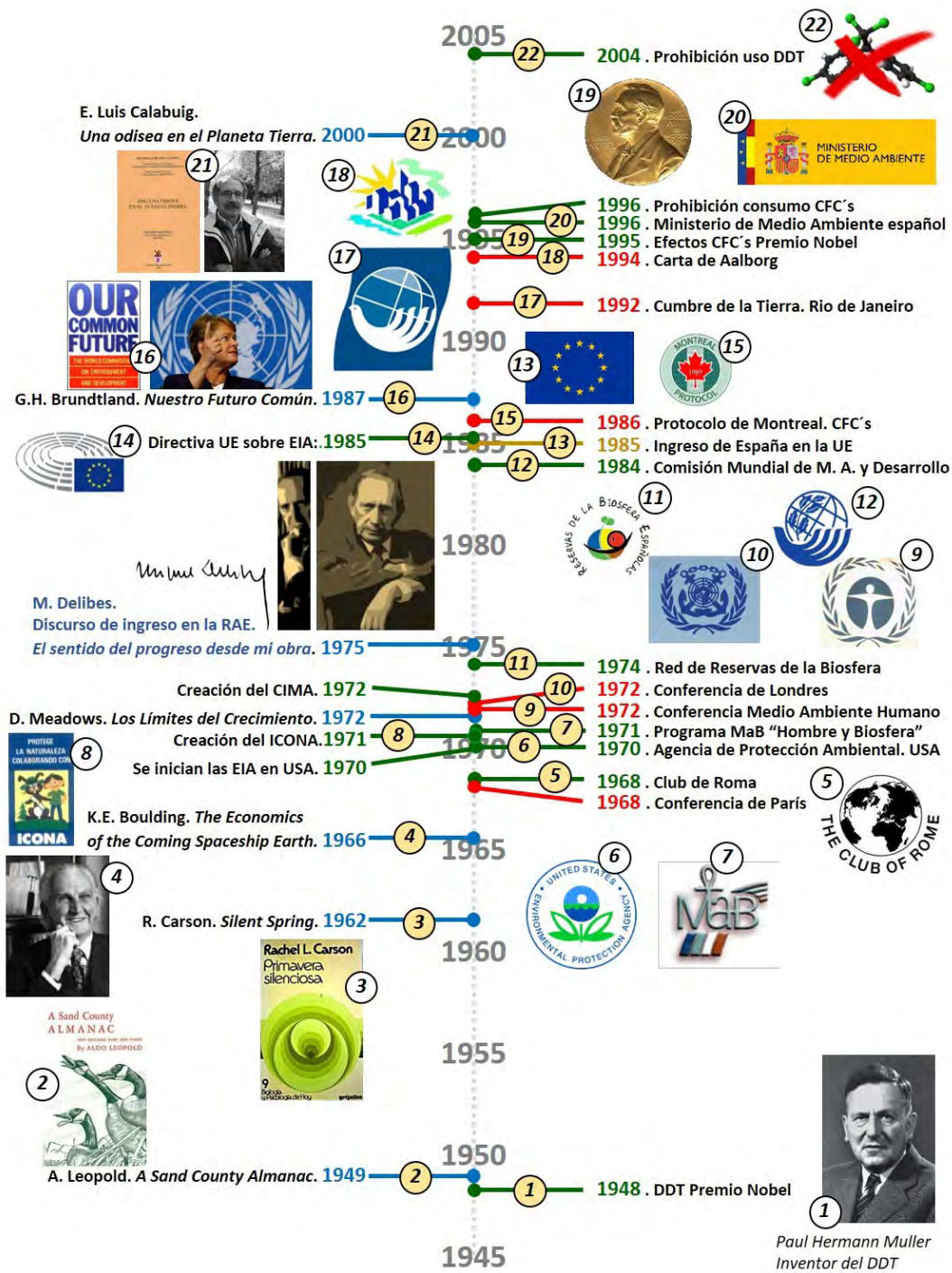


Figura 2. La presentación del discurso de ingreso de Miguel Delibes en la Real Academia Española surge en un momento de gran actividad internacional en defensa de la Naturaleza ante las agresiones humanas, anticipándose en muchos planteamientos de proyección global

Unas décadas antes habían aparecido testimonios que reivindicaban la importancia y la necesidad de considerar una nueva ética para las relaciones en-

tre la especie humana con el resto del planeta. Aldo Leopold, científico americano, ingeniero dedicado a la gestión forestal y consultor de instituciones internacionales, fue el autor del libro “A Sand County Almanac” (Leopold, 1949), publicado un año después de su muerte, en el que se plasmaron unas ideas muy sencillas, pero aderezadas de una lógica absoluta y radical, que trataban de expresar las leyes de la Naturaleza. Podría resumirse en la sentencia que le hizo célebre: “Una cosa está bien mientras tiende a preservar la integridad, estabilidad y la belleza de la comunidad biótica. Está mal, si tiende a hacer lo contrario”. Resulta asombroso cómo Delibes llega a la misma conclusión para definir su concepto de ética con la Naturaleza cuando en su discurso dice: *Todo cuanto sea conservar el medio es progresar; todo lo que signifique alterarlo esencialmente, es retroceder.*

Unos años más tarde Rachel Carson (1962), divulgadora estadounidense, contribuyó con la publicación “Silent Spring” a la puesta en marcha de la moderna concienciación ambiental. Un libro de fuerte influencia en el incipiente y disperso sentimiento proteccionista que poco después llegó a cristalizar en movimientos sociales con objetivos conservacionistas, aunque en su momento fue criticado por algunos científicos con acusaciones de exceso de inventiva. Centró su objetivo en explicar que la Naturaleza es un todo complejo, conformado por partes interrelacionadas que responden a cualquier acción con consecuencias indirectas, incluso para la especie humana, y que son difíciles de predecir, por lo que requieren de una adecuada gestión y vigilancia. Posiblemente de ahí salieron las bases para la creación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) que empezó a funcionar a finales del año 1970. El propio Delibes bebió de la fuente de esta prestigiosa naturalista, apelando a sus teorías y utilizando en su discurso el evidente ejemplo que relaciona *la casi total desaparición del petirrojo y el águila calva, en los Estados Unidos, con el abuso de los pesticidas.*

En 1968 se funda el Club de Roma como organización no gubernamental, constituido por un pequeño grupo de científicos y políticos de diversos países dirigidos por Aurelio Paccei, preocupados por problemas globales del planeta causados por la especie humana, y con el objetivo de encontrar respuestas de forma interdisciplinar y holística. Encargó el clásico informe sobre “Los límites del crecimiento”, publicado en 1972, contando con la biofísica y experta medioambiental D. Meadows como principal especialista, y cuyas conclusiones han sido validadas en la segunda década de este siglo.

En junio de 1972 tiene lugar en Estocolmo la Conferencia de las Naciones

Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. Fue la primera de la serie, precisamente dedicada a poner de manifiesto que la responsabilidad en la preservación de los recursos naturales del planeta, en beneficio de las generaciones presentes y futuras, recaía en la especie humana, y en consecuencia su planificación en el contexto del desarrollo económico. Delibes resalta en su discurso la importancia de la Conferencia de Estocolmo por lo que supuso de concienciación a la humanidad y por la *serie de conclusiones bienintencionadas* que de ella surgieron, recordando también, como antecedentes, la Conferencia de París de 1968 y el Convenio de Londres de 1972. La primera, organizada por la UNESCO sobre la Conservación y el Uso Racional de los Recursos de la Biosfera, en la que se resaltaba la necesidad de lograr la compatibilidad entre el uso de los recursos y la conservación, y de donde surgió en 1971 el Programa Hombre y Biosfera (MaB), desarrollado posteriormente en la Red Mundial de Reservas de la Biosfera. Y el segundo, que se centró en la Prevención de la Contaminación del Mar por vertido de desechos, con el acuerdo de evitar su eliminación indiscriminada y fomentar acciones sin impactos negativos para los recursos vivos marinos y sin riesgos para la salud humana.

La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo fue creada por la Organización de las Naciones Unidas en la Asamblea General de 1984. Tres años más tarde presenta su primer informe: “Nuestro Futuro Común”, conocido en la órbita científica como “Informe Brundtland”, donde aparece por primera vez el concepto de “Desarrollo Sostenible” como aquel que satisface las necesidades actuales sin menoscabar la capacidad de las futuras generaciones de poder hacer lo propio.

En la Cumbre de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo de junio de 1992 se reafirman las declaraciones de la primera Conferencia de las Naciones Unidas, se reconoce la naturaleza integral e interdependiente de nuestro planeta Tierra, y se presentan las razones para la aplicación del concepto de sostenibilidad en el desarrollo económico.

La Unión Europea hace lo propio en la Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad, conocida como Carta de Aalborg de 1994, organizada por el Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales (ICLEI), donde las ciudades y unidades territoriales firmantes se comprometieron a participar en las iniciativas locales de la Agenda 21, con los objetivos de preservación del capital natural, no contaminación y mantenimiento de la diversidad biológica.

Mientras, en España, y como hito más destacado, se crea el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) en 1971. Poco después, se asiste a la creación de la Comisión Interministerial del Medio Ambiente (CIMA) en 1972, como un primer aunque tibio y poco efectivo intento de acomodarse a las exigen-

cias de la lucha contra la contaminación y la defensa y mejora del medio ambiente, que hasta entonces pecaba de hacerse con muchos enfoques sectoriales, muy alejadas de los planteamientos integrales y más modernos que estaban siendo implantados ya en algunos países. El primer ministerio con única denominación de Medio Ambiente se crea en 1996, acumulando las competencias sobre materia de Obras Públicas y de Agricultura; y con el Acta de Adhesión de España en las Comunidades Europeas de 1985, nuestro país empezó a regirse en materia medioambiental por los reglamentos y decisiones de la UE o por transposición de sus directivas.

Miguel Delibes: “He aquí mi credo”

En la introducción de su oratoria para acceder a la Real Academia Española, Miguel Delibes proclama abiertamente su *oposición al sentido moderno del progreso [desarrollo] y a las relaciones Hombre-Naturaleza*, y que se fue haciendo más acre y radical hasta abocar en la novela “Parábola del naufrago”, donde el progreso termina por mancillar a la Naturaleza, *que harta [...] se alza contra el hombre en abierta hostilidad*. Expresión que encaja en perfecta sintonía con el Manifiesto de Roma que propugnaba por un desarrollo sobre bases diferentes a las que hasta ese momento habían prevalecido. *La industria se nutre de la Naturaleza, y la envenena y, al propio tiempo propende a desarrollar complejos cada vez más amplios, con lo que día llegará en que la Naturaleza sea sacrificada. Pero si el hombre precisa de aquélla, es obvio que se impone un replanteamiento*. Simultáneamente hace alusión al funcionamiento de los ecosistemas cuando sugiere que debe armonizarse *Naturaleza y técnica de forma que ésta, aprovechando los desperdicios orgánicos, pudiera cerrar el ciclo de producción de manera racional y ordenada*.

En su día, Delibes fue tachado de reaccionario por esgrimir este tipo de planteamientos, pero él mismo manifiesta que, ya en ese momento, *se podía demostrar lo contrario* y argumentar *que el verdadero progresismo no estriba en un desarrollo ilimitado y competitivo, ni en fabricar cada día más cosas, ni en inventar necesidades al hombre, ni en destruir la Naturaleza, ni en sostener a un tercio de la humanidad en el delirio del despilfarro mientras los otros dos tercios se mueren de hambre, sino en racionalizar la utilización de la técnica, facilitar el acceso de toda la comunidad a lo necesario, revitalizar los valores humanos, y establecer las relaciones entre la especie humana y la Naturaleza en un plano de concordia*. Termina concluyendo que: *ese es mi credo y, por hacerlo comprender, venía luchando desde hacía veinticinco años*.

Trasponiendo esa lectura a la situación actual, con otros cuarenta y cinco

años añadidos de desarrollo, cargados de avisos y alarmas sobre la degradación del planeta, aportados por cientos de científicos con abundantes pruebas sobre los impactos ambientales causados, a todas las escalas, y prácticamente en todas las regiones y territorios, volveríamos a repetir la misma pregunta de Delibes: *¿Es serio afirmar que la actual orientación del progreso [desarrollo] es la congruente?* Seguramente la respuesta reflexiva también sería análoga: *Si progresar es hacer adelantamientos en una materia, lo procedente es analizar si estas mejoras implican un retroceso en otras y valorar en qué medida lo que se avanza justifica lo que se sacrifica.* Planteamiento genérico aplicable a los tres componentes del desarrollo: social, económico y ambiental.

Por supuesto que han surgido propuestas para valorar los impactos de las actividades humanas en el medio ambiente, con el objetivo de ejercer una gestión que minimice los efectos negativos, aplicando medidas protectoras, correctoras o compensatorias. Para eso deben utilizarse de forma objetiva y científica las herramientas de Evaluación de Impacto Ambiental y de Evaluación Ambiental Estratégica, aplicable a proyectos la primera, y a políticas, planes y programas la segunda. Sus orígenes se encuentran en la ya comentada Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos en 1970, con proyección en la Unión Europea en una Directiva de 1985. Teóricamente son instrumentos que deberían ser efectivos, pero en la práctica tienen una cierta carga de subjetividad que disminuye su fiabilidad, casi siempre en detrimento de los recursos de la Naturaleza.

En este punto volvemos a encontrar en el texto de Delibes su capacidad de predicción, cuando asemeja *la actitud del hombre contemporáneo a la de aquellos tripulantes de un navío que, cansados de la angostura e incomodidad de sus camarotes, decidieron utilizar las cuadernas de la nave para ampliar aquéllos y amueblarlos suntuosamente, para concluir cómo el hombre, arrullado en su confortabilidad, apenas se preocupa del entorno.* La acertada simbología de la nave ha sido reiteradamente repetida por los científicos para llamar la atención sobre la limitación de los recursos, en un espacio también limitado, donde el hombre es uno más en el gran sistema ecológico. El ejemplo, por excelencia, es el de K.E. Boulding (1966), quien introdujo en el título de su trabajo “The Economics of the Coming Spaceship Earth” la idea del planeta como una nave espacial. Y yo mismo en mi lección inaugural, presentada en la inauguración del curso 2000-2001, (Luis Calabuig, 2000), hice uso de esa imagen alegórica en la disertación “2001, Una Odisea en el Planeta Tierra” para hacer un repaso de la historia, vicisitudes y situación ambiental actual de la nave Tierra, y con la misma pretensión advertidora. En cualquier caso, Delibes es certero en su sencillez de exposición al concretar: *He aquí la madre del cordero. Porque aho-*

ra que hemos visto suficientemente claro que nuestro barco se hunde, ¿no sería progresar el admitirlo y aprontar los oportunos remedios para evitarlo?

Realmente somos eso, una pequeñísima nave, un minúsculo punto azul en el firmamento, con cientos de miles de millones de otras galaxias, con infinitud de posibilidades de albergar otros tantos puntos, a saber de qué colores. *La técnica, que puede mucho, evidencia que somos muy poco.* Sin embargo, nos imaginamos un planeta inmenso e inagotable y con patente de corso para hacer y deshacer a nuestro antojo, con comportamientos mercenarios para beneficio propio, pero realmente estamos *embarcados en una nave cuya despensa, por abastecida que quiera estar, siempre será limitada.*

Matizar el progreso

Se hace necesario concretar los términos para evitar erróneas interpretaciones, y en este sentido Delibes señala que *negar la posibilidad de mejorar y, por lo tanto, el progreso, sería una ligereza; condenarlo una necesidad. Pero sí cabe denunciar la dirección torpe y egoísta que los rectores del mundo han impuesto a ese progreso.* Queda implícito que el concepto a tener en cuenta como válido, para evitar el proceso de degradación de los ecosistemas, deberá ser el ya comentado desarrollo sostenible, en el que la conservación y la explotación, como componentes a contemplar en la gestión ambiental, deben mantenerse en equilibrio (**Fig. 3**), y en continua vigilancia para procurar que el consumo de los recursos se haga en función de las rentas naturales que permiten asegurar la sostenibilidad del sistema, y no del capital natural que lleva a un continuado y cada vez más abultado déficit ecológico.



Figura 3. Explotación y conservación, como objeto de la gestión ambiental, deben mantenerse en perfecto equilibrio para conseguir el desarrollo sostenible. Dibujo de E. Luis Calabuig

La ciencia aplicada ha supuesto un gran avance que se ha ido traduciendo en un creciente dominio de la Naturaleza; *no obstante*, comenta Delibes con perspicacia, *todo impulso hacia adelante comporta un retroceso, un paso atrás, lo que en términos cinegéticos [...] llamaríamos el culetazo*. Y en este momento saca a relucir el caso del DDT, como claro y triste ejemplo de un descubrimiento clasificado como sustancia milagrosa en el control de plagas, merecedor de un Premio Nobel en 1948, pero con un fuerte revés tras demostrarse su funesto efecto medioambiental y causante de tremendos desajustes en muchos ecosistemas, que finalmente provocaron su prohibición oficial y total en 2004, aunque aún se quiera y se consiga justificar su mantenimiento.

Podríamos añadir como ejemplo más moderno el de los clorofluorocarbonos (CFC) como causantes de la rarefacción de la capa de ozono e importante contribución al efecto invernadero antropogénico. Hay que repetir el mismo relato que en caso anterior. Descubiertos y utilizados con éxito y aclamaciones por su efecto inocuo para las personas, se emplearon tras la Segunda Guerra Mundial como refrigeradores, sustituyendo otros productos tóxicos o explosivos, y más tarde como propelentes, hasta que, varias décadas después, quedo demostrado su efecto por interacción con el ozono estratosférico, -estudio merecedor también de Premio Nobel en 1995-. Como consecuencia se llegó al compromiso internacional de reducción de la producción de forma gradual en el Protocolo de Montreal de 1986, y posterior eliminación total de su consumo en 1996. Culetazos, ambos, que han tenido una repercusión global en el planeta.

Delibes hace igualmente referencia al progreso cuando menciona *algunas conquistas técnicas encaminadas a satisfacer los viejos anhelos de ubicuidad del hombre* (en ambas dimensiones, espacial y temporal), apostillando sobre los problemas de contaminación, riesgos ambientales, superpoblación, pandemias –de funesta novedad en estos momentos–, hambre y otros de tipo social por los que siempre ha sentido una especial preocupación, y que se podrían sintetizar en el doble sentido de la frase: *“Estamos más juntos –y aun lo estaremos más– pero no más próximos”*.

Introduce Delibes el concepto del dinero en su capacidad de establecer rangos, y en su relación con el estado de bienestar, criticando que *para los actuales rectores del mundo y para la mayor parte de los humanos, consiste, tanto a nivel comunitario como a niveles individuales, en disponer de dinero para cosas*, y el hecho de que esas cosas sean necesarias o superfluas es accesorio. Producción y consumo también han evolucionado y las implicaciones ambientales de ese juego se mueven en la dirección de desencadenar efectos cada vez más nocivos para la Naturaleza, donde proporcionalmente se involucra el dinero en

gastar uno en producir objetos superfluos y emplear noventa y nueve en persuadirnos de que nos son necesarios. Y para colmo de despilfarro, como característica ecológica de la especie humana, asociada tanto al metabolismo endosomático como al exosomático (aunque en proporción 10/90), el desarrollo exige que la vida de esas cosas sea efímera [...], se fabriquen mal deliberadamente, [...] lo que requiere una constante renovación para evitar que el monstruoso mecanismo se detenga.

Mientras tanto los desechos se acumulan degradando la Naturaleza. ¿Que contaría Delibes de la actual situación de la gestión de residuos en general o de la omnipresencia de los plásticos en particular? Con producciones que se han multiplicado por diez desde que en 1975 presentó su discurso en la Academia, o que en su estimación para el 2050 se alcanzará la sorprendente cifra de 14.000 millones de toneladas en producción total acumulada. Plásticos de los que 5.400 millones de toneladas terminan en el medio degradando los paisajes, interfiriendo en el comportamiento biológico de muchos animales y alterando el funcionamiento de los ecosistemas. Enormes acumulaciones de restos plásticos que llegan a formar el mayor vertedero flotante del planeta con una superficie que casi triplica la superficie de nuestro país. Residuos plásticos que se generan a una velocidad de casi 100 Kg por persona al año en España. Pero no hay que olvidar que, cuando se descubrieron, prometían un sinfín de beneficios de los que carecían los materiales naturales. Otro culetazo más por el mal hábito en la interpretación del progreso disfrazado con el derroche, y en la desidia por los valores de la Naturaleza. Ante situaciones como esta Delibes argumentaba: *Es la civilización del consumo en estado puro, de la incesante renovación de los objetos –en buena parte, innecesarios– y, en consecuencia, del desperdicio.*

Atentar contra la Naturaleza

Delibes dedica una parte importante de su discurso a dejar patente las agresiones contra la Naturaleza y a resaltar que los beneficios a corto plazo son una trampa a plazo algo más largo de la que habrá que librarse antes o después. *En la actualidad -en 1975- la abundancia de medios técnicos permite la transformación del mundo a nuestro gusto, posibilidad que ha despertado en el hombre una vehemente pasión dominadora. El hombre de hoy –de 1975- usa y abusa de la Naturaleza como si hubiera de ser el último inquilino de este desgraciado planeta, como si detrás de él no se anunciara un futuro. La Naturaleza se convierte así en el chivo expiatorio del progreso. Sugiere simplemente aplicar un principio elemental, generalizable a todo el espectro biológico: Toda idea de futuro basada en el crecimiento ilimitado conduce, pues, al desastre.* La explo-

tación y uso de los recursos requiere proceder de forma absolutamente complementaria asegurando la digestión de los desechos. Si se rompe la conexión se agotará la Naturaleza. Delibes opina y advierte: *A mi juicio, no importa tanto la inminencia del drama como la certidumbre, que casi nadie cuestiona, de que caminamos hacia él.* Pero lo realmente lamentable y desalentador de todos los planteamientos y razonamientos que vierte en su discurso de 1975, es que serían los mismos (perdón, serían mucho más trágicos) que los que denunciaría en 2020, cuando se celebra el aniversario de su nacimiento.

Al contar las experiencias de su estrecho contacto con el medio rural, con los paisajes y la Naturaleza, se percibe cierta tristeza y enojo. Tal es el caso de su observación como hombre de campo de la regresión de la perdiz roja en aquellos puntos en que el secano va siendo sustituido por el regadío. *Se me ocurre pensar si este decrecimiento no estará relacionado con los distintos tratamientos de la tierra, señalando que las siembras de secano no son fumigadas con pesticidas, en tanto que la huerta si lo está, y en dosis que aumentan de forma progresiva ante la resistencia a los fármacos de los insectos que se trata de eliminar.*

Ofrece conclusiones semejantes para los cambios paulatinos del paisaje que, con pretensiones prácticas, la especie humana ha ido amoldando a sus exigencias empobreciendo, en definitiva, los sistemas ecológicos y, en no pocos casos, *tomando una resolución precipitada porque el hombre sabe lo que le es útil hoy pero ignora lo que será útil mañana.*

Hace notar que *toda pretensión de mudar la Naturaleza es asentar en ella el artificio, y por tanto, desnaturalizarla, hacerla regresar. Empero, el hombre se obstina en mejorarla y se inmiscuye en el equilibrio ecológico, eliminando mosquitos, desecando lagunas o talando el revestimiento vegetal.* Termina ofreciendo una receta simple pero tajante: *Y ya que, inexcusablemente, los hombres tenemos que servirnos de la naturaleza, a lo que debemos aspirar es a no dejar huella, a que se “nos note” lo menos posible,* aunque cuando lo escribió no estaba nada convencido de que eso fuera a lograrse, calificando tal propuesta de *quimera.*

Demuestra en su discurso estar bien informado de los problemas ambientales que se manifestaban en aquel momento, tanto a escala local, como global, y por eso se permite con seriedad y detalle comentar los efectos de la contaminación industrial, su nefasta marca en la atmósfera y las repercusiones para la salud humana; la evolución diferencial en el uso de pesticidas en países desarrollados y pobres, menos persistentes y más tóxicos en los primeros, y poco o no degradables en los segundos; la pérdida acelerada de recursos estratégicos y *la tendencia a la dilapidación que despierta el elevado nivel de vida de las*

sociedades más evolucionadas; la contaminación de los mares por todo tipo de residuos y la problemática de los bancos pesqueros; la explotación y conservación de los bosques a nivel planetario y la gestión de los recursos forestales.

Tras la presentación de varios ejemplos confiesa que, más que el gasto de recursos no recuperables, a mí, personalmente y en líneas generales, me alarma el despilfarro de aquellos que pueden recuperarse y, sin embargo, no se recuperan. [...] Terminar con aquello que nos es imprescindible y cuyo final no pudo preverse, revela un índice de rapacidad y desidia que dicen muy poco en favor de la escala de valores que rige en el mundo contemporáneo. Sigo insistiendo que este texto hay que ponerlo en 1975, por lo que al leerlo en las coordenadas temporales de la realidad actual la inquietud por la situación ambiental es mucho más alarmante.

Vuelve a insistir en la metáfora de la nave y concluye que la especie humana debe convencerse de que navega en el mismo barco y todo lo que no sea coordinar esfuerzos será perder el tiempo. En este juego participamos todos, pero nadie debe reservarse el derecho de hacer trampas. Nuestro planeta se salvará entero o se hundirá entero.

Conclusión: “La Hoja Roja”

Miguel Delibes demostró en su discurso de ingreso en la Real Academia Española un excelente conocimiento del medio ambiente y del funcionamiento de la Naturaleza. Su experiencia personal como buen observador del campo y valedor del mundo rural, junto a su condición de periodista y el asesoramiento de buenos especialistas, le propiciaron los condicionantes necesarios para poder interpretar y ponderar las relaciones entre el Hombre y la Naturaleza desde la escala local hasta la planetaria. Conocía y manejaba los acontecimientos mundiales en materia de medio ambiente y consultaba las publicaciones científicas. Disponía de los resortes necesarios para poder hacer un juicio crítico de la situación con conocimiento de causa, y seguramente en su vida diaria desgranaba y comentaba cada hecho, cada situación y cada noticia que tuviera que ver con su entorno más cercano o con los avatares de todo el planeta.

Queda claro que era un enamorado de todo lo relacionado con la Naturaleza y sus valores (no en balde siempre escribe Naturaleza con N mayúscula, para dejar constancia de que, para él, significaba grandeza y transcendencia). Sin embargo, tras la lectura del texto queda un cierto regusto amargo que prevalece sobre el fondo de admiración que sentía por todo lo relacionado con el campo y la Naturaleza. Como prueba de ello, una frase que bien podría repetirse en estos momentos, en los que la Humanidad está pasando por escenarios que han dejado

en entredicho su presumida soberbia como especie dominante. Simplemente bastaría con cambiar la causa. Delibes sentencia: *Algunas gentes, sin embargo, ante la repentina crisis [...] que padece el mundo, han hablado, con tanta desfachatez como ligereza, del fin de la era del consumismo. Esto, creo, es mucho predecir. El mundo se acopla a la nueva situación, acepta el paréntesis; eso es todo. Mas, mucho me temo que, salvadas las circunstancias que lo motivaron, la fiebre del consumo se despertará aún más voraz que antes de producirse.*



Figura 4. Con la metáfora de la “hoja roja” la Naturaleza advierte que el planeta se degrada y que los recursos se agotan

Son muchas las advertencias llenas de coherencia que va sembrando a lo largo de sus renglones, y de continuada validez hasta nuestros días, destacando como enseñanza positiva que la especie humana debería comportarse como un ser vivo en equilibrio con las demás especies, *pero el progreso despiadado ha roto este equilibrio con otros seres vivos y de unos hombres con otros.* Ya se ha dado la alarma. Utilizando como metáfora la hoja roja de uno de sus títulos, advertidora en los librillos de papel de fumar que ya quedan muy pocas, la Naturaleza también nos ha enseñado su propia hoja roja avisando de igual modo que se agotan sus recursos (**Fig. 4**). ¡Hagamos algo para evitarlo!

*A mi juicio,
el primer paso para cambiar la actual tendencia del desarrollo,
y, en consecuencia, de preservar la integridad del Hombre y de la Naturaleza,
radica en ensanchar la conciencia moral universal.
Miguel Delibes Setién, 1975*

Bibliografía

Boulding, K.E. 1966. The Economics of the Coming Spaceship Earth. En H. Jarrett (ed). *Environmental Quality in a Growing Economy*. 3-14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press



- Carson, R. 1962. Silent Spring. Houghton Mifflin. Boston. Edición en castellano: Primavera silenciosa. Editorial Crítica. Colección Drakontos. Barcelona (2010).416 pp
- Delibes Setién, M. 1975. El sentido del progreso desde mi obra. Real Academia Española. Madrid. Ac. Esp. II-189. 78 pp
- Delibes Setién, M. 1979. Un mundo que agoniza. Intr. y adap. texto, García Domínguez R. Ed. Plaza y Janés. 165 pp
- Leopold, A. 1949. A Sand County Almanac. New York. Oxford. Edición en castellano: Un año en Sand County. Madrid .Errata naturae, 2019
- Luis Calabuig, E. 2000. 2001, Una Odisea en el Planeta Tierra. Lección inaugural del curso 2000-2001. Secretariado de Publicaciones. Universidad de León

Referencias electrónicas

Ha sido consultada durante el mes de octubre de 2020

r.e. 1. Discurso de Ingreso pronunciado en la Real Academia Española por Miguel Delibes Setién. 1975

https://www.rae.es/sites/default/files/Discurso_de_ingreso_Miguel_Delibes.pdf

Créditos de imágenes

f.1.- Toma de posesión de Miguel Delibes del sillón “e” de la RAE

https://www.abc.es/cultura/libros/abci-centenario-miguel-delibes-delibes-academico-mas-triste-tomo-posesion-202010161640_noticia.html

DE TODO UN POCO

La excepcional situación provocada por la COVID-19 durante este año 2020, ha obligado a suspender o modificar muchas de las actividades en las que de forma habitual participa la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales (FCCBA) de la Universidad de León (ULe). A pesar de ello, y en la medida de lo posible, hemos continuado colaborando y organizando eventos tanto de carácter científico y cultural como formativo y divulgativo.

Jornadas, congresos y conferencias

Con motivo de la conmemoración del Día Internacional de la mujer y la niña en la Ciencia (**Fig. 1**), y con la finalidad visibilizar el trabajo de las científicas, se programaron desde el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de la ULe, charlas, talleres y mesas redondas en centros universitarios y en diversos colegios e institutos de la provincia de León. Las actividades se desarrollaron durante la primera quincena del mes de febrero, iniciándose el día 3 en el Aula Magna de la Facultad con la conferencia titulada '*Tras los pasos de las pioneras en ciencia. El techo de cristal*'. La charla fue impartida por las investigadoras Marta Lombó, Alba Manga y Alba María García Lino. Otras 14 profesoras e investigadoras de la FCCBA participaron en diferentes talleres sobre: Biología del Desarrollo, Seres vivos, Tecnología de los Alimentos, Fisiología y Biotecnología de las Plantas y Fisiología Animal.



Figura 1. Representación de investigadoras y científicas participantes en el Día Internacional de la mujer y la niña en la Ciencia acompañadas del Rector, el Vicerrector de Investigación y Transferencia y la Vicerrectora de Relaciones Institucionales y con la Sociedad de la ULe

Cabe destacar también la exitosa acogida de la segunda edición de *Ex-pociencia Unileon 2020* (**Fig. 2**) celebrada los días 12 y 13 de febrero en Pon-

ferrada y 18, 19 y 20 del mismo mes en León. Expociencia Unileon es un evento de divulgación científica organizado por la ULe en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) que trata de fomentar la vocación investigadora y emprendedora y difundir la labor que desempeñan los grupos de investigación. Más de treinta grupos de investigación de la ULe participaron en el evento, organizando talleres y ponencias a los que asistieron 8000 visitantes y un total de 4500 alumnos pertenecientes a 55 centros educativos de la provincia. Numerosos profesores e investigadores de nuestra Facultad, pertenecientes a siete grupos de investigación, participaron en este evento con las actividades siguientes: “*Taller de Experimentos Fascinantes con Plantas*”, “*Análisis atmosférico de aerosoles y bioaerosoles y sus interrelaciones*”, “*Biominales en acción. Cómo fabricamos y qué superpoderes nos confieren los biominales*”, “*Las “movidas” de las plantas: ¿cómo se defienden frente a los cambios?*”, “*Botánico por un día: 2020 Vigilando la biodiversidad*”, “*Si tú me dices Química, lo dejo todo*” y “*¿Hay vida después de un incendio?: La ciencia de la Ecología responde*”.

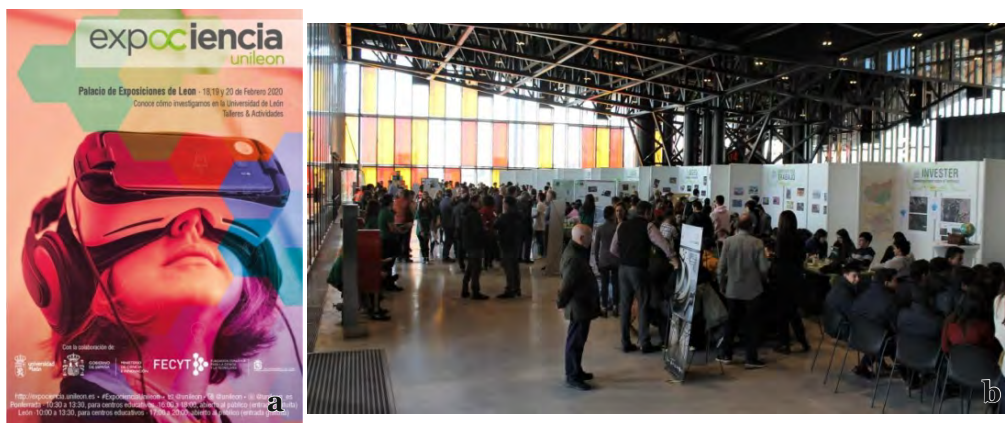


Figura 2. a) Cartel informativo Expociencia Unileon 2020; **b)** Palacio de Congresos de León donde se desarrolló la Expociencia

Durante los días 20 a 22 de febrero se celebraron en la Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) (Portugal) las **II Jornadas Ibéricas de Genética y Biotecnología (Fig. 3)**, organizadas por la Dra. M.^a Luz Centeno en colaboración con profesores de las áreas de Fisiología Vegetal y de Genética, el Equipo Decanal, la Asociación de Biotecnólogos de León (ABLE) y profesores de la UTAD. Asistieron a las Jornadas cerca de 200 participantes con presencia de investigadores de reconocido prestigio en los campos de la Genética y Biotecnología vegetal, humana, animal y de microorganismos. Las contribuciones científicas se presentaron en sesiones de pósteres, comunicaciones orales y conferencias.



Figura 3. Celebración de las II Jornadas Ibéricas de Genética y Biotecnología en la Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) (Portugal)

Como en años anteriores y con el objetivo de acercar la ciencia a los diferentes sectores de la sociedad leonesa, ABLE organizó, entre el 6 de marzo y el 3 de abril, el ciclo de conferencias de divulgación científica **ConCiencia** en la Fundación Sierra Pambley. La situación provocada por la COVID-19 obligó a la cancelación de la actividad, pudiendo impartirse solamente la ponencia titulada “*Bichos sencillos, extraños, peligrosos, ¿feos? ..., pero útiles*” por parte del Decano de nuestra Facultad, el Dr. Antonio Laborda Navia.

Los días 11, 12 y 13 de mayo se celebró la primera edición de las **Jornadas de Puertas Abiertas on line**, organizadas por los Vicerrectorados de Estudiantes y Relaciones Institucionales y con la Sociedad de la Universidad de León. Bajo el título “La Universidad se acerca a ti” se ofrecieron charlas informativas en directo de profesores y expertos, visitas virtuales y sesiones de chat en las que se trasladó información sobre el desarrollo de la EBAU, motivaciones y razones por las que estudiar en la ULe, oferta de Grados, etc. En esta misma línea y con el mismo formato, los días 16, 17 y 18 de junio tuvieron lugar las **I Jornadas online de Posgrados de la ULE** en las que se ofreció información sobre la oferta de Másteres y Programas de Doctorado que se imparten en los Campus de León y Ponferrada.

La asociación ABLE organizó, durante un año más, y en colaboración con la Federación Española de Biotecnólogos (FEBBiotec), el ciclo de charlas de divulgación científica **Con Ciencia, Té** que fueron retransmitidas durante todos los jueves del mes de diciembre a través de la plataforma IGTV de la red social Instagram. Las charlas fueron impartidas por investigadores predoctorales y alumnos de Máster y Grado y los títulos de las mismas fueron: “*Superbacterias, ¿el enemigo del futuro o del presente?*”, “*Necesidades ambientales en gatos: cómo hacerlos más felices*”, “*Bdellovibrio bacteriovorus ¿Una solución a las multirresistencias?*”, “*Mixtamalización y otras alcalinizaciones. Aplicaciones culinarias e industriales del pasado, presente y futuro*”, “*Las plantas más jetas:*

transferencia horizontal en plantas parásitas”, “*Esta masa... ¿se sale de madre!*” y “*El silicio en microprocesadores ¿Tiene sustitutos?*”.

Cursos y talleres

Durante los días 10 y 11 de febrero se celebró la segunda edición del **curso de Alcoholes**, organizada por la Asociación ABLE. Aitor Balsameda (investigador predoctoral de la Universidad Rovira i Virgili) explicó los aspectos básicos de los procesos fermentativos comunes de bebidas fermentadas como el vino, la cerveza y la sidra: microorganismos, rutas metabólicas y materias primas.

Como ya viene siendo habitual, profesores de la Facultad participaron también durante este año en la dirección e impartición de **Cursos de Verano y de Extensión Universitaria**. Entre ellos pueden destacarse: “*Micología Aplicada*”, bajo la dirección de la Dra. Ana Belén Fernández Salegui y “*El futuro de los incendios forestales: nuevas tecnologías y territorios resilientes*” dirigido por los Dres. Alfonso Fernández Manso y Leonor Calvo Galván.

Innovación docente y otras actividades

El PDI de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales continúa implicado de forma activa con la innovación docente. Por ejemplo, en el **II Congreso Internacional de Innovación Docente e Investigación en Educación Superior: Avanzando en las Áreas**, celebrado en Madrid los días 11, 12 y 13 de noviembre, el simposio: “*Incentivar el interés por materias Stem en niveles universitarios y pre-universitarios mediante Metodologías Aa+ (Abp, Aps)*” fue coordinado por la Dra. Carmen Acedo y contó con cinco ponencias presentadas por otras tantas profesoras de nuestra Facultad.

En lo que a otras actividades respecta, el día 13 de febrero se celebró la segunda parte del **proyecto Biotechnofarm** organizado por la Federación Española de Biotecnólogos (FEBiotec). El proyecto pretende acercar la Biotecnología a las escuelas y está orientado a estudiantes de 4º de E.S.O. y de Bachillerato. 15 alumnos de seis centros educativos participaron este año en diferentes talleres científicos en los laboratorios de la Facultad.

62 niños de entre 6 y 12 años (hijos y familiares de empleados de la ULe) participaron durante los días 24, 25 y 26 de febrero en el programa **Concilia-ULe (Fig. 4)** organizado por el Área Social del Vicerrectorado de Responsabilidad Social, Cultura y Deportes de la ULe. El objetivo de este programa es atender a la demanda de los trabajadores y favorecer así la conciliación laboral, familiar y personal del personal de la ULe. Los niños realizaron un recorrido por cuatro centros del Campus de Vegazana, entre ellos la FCCBA donde realizaron distintos talleres y actividades.



Figura 4. Participantes en el programa Conciencia-ULe 2020 en la entrada principal de la FCCBA

La pandemia no impidió la celebración de **Geología 2020** en el mes de mayo. Para esta excepcional ocasión y debido a la imposibilidad de asistir de forma presencial a las excursiones, los organizadores prepararon guías de campo, explicaciones de las rutas en vídeo, fotografías y gráficos del paraje de 'Las Torcas de Barrientos' a través de los cuales se pudieron realizar de forma virtual las salidas de campo programadas y así descubrir toda la geología que se muestra en ellas. La actividad fue organizada por la Sociedad Geológica de España (SGE) con el apoyo, entre otras instituciones, de la Universidad de León a través del Grupo 'Q-Geo' que coordina la Dra. Esperanza Fernández.

También durante el periodo de confinamiento se desarrolló desde la Facultad la actividad **Yo me quedo en casa estudiando Fisiología Vegetal**, coordinada por la Dra. Penélope García Angulo. Los alumnos de 2º curso del Grado en Biotecnología elaboraron una serie de vídeos de divulgación científica de corta duración (3-4 minutos) en los que presentaron pequeñas píldoras de información sobre temas que forman parte de los contenidos que estaban cursando (**Fig. 5**). Todos los vídeos están disponibles en la web de la ULe.



Figura 5. Ejemplo de vídeo elaborado por los alumnos de 2º de Biotecnología en la asignatura de Fisiología Vegetal

Se celebraron también las **VII Jornadas de Prácticas de Gestión de Flora**, organizadas por la Dra. Carmen Acedo. Las Jornadas se incluyen como una actividad en la programación formativa de la asignatura del Grado en Ciencias Ambientales “Gestión de Flora”. Este año, y debido a la situación provocada por la pandemia, se organizó una sala de exposición virtual para que los estudiantes presentaran los paneles con los resultados de los proyectos prácticos realizados durante el semestre.

Del 8 de octubre al 13 de noviembre se presentó en la Sala de Exposiciones de la Facultad la **Exposición de Fotografía “Esencialmente Invisible”** de la artista vallisoletana Nuria Sancho. La exposición incluía retratos que nos invitaban a conectar con nosotros mismos y la belleza que nos rodea.

Del 9 al 15 de noviembre tuvo lugar la **XVII edición de la Semana de la Ciencia en Castilla y León** con la coordinación del Parque Científico Universidad de Valladolid y la colaboración de la Consejería de Educación a través de la Fundación Universidades y Enseñanzas Superiores de Castilla y León (**Fig. 6**). Cabe destacar, entre las actividades programadas por la Universidad de León, la charla impartida por la Dra. Leonor Calvo titulada “*Problemática de los incendios forestales*”.

Los días 11 y 12 de noviembre tuvieron lugar las **Jornadas de Investigadoras de Castilla y León** en su VI edición, organizadas por las cuatro Universidades de Castilla y León. La Dra. Carmen Marín formó parte del Comité Organizador de las mismas y la Dra. María Paz Herráez impartió la conferencia titulada “*El legado masculino ¿qué heredamos de papá?*”

La tarde del 27 de noviembre se celebró la segunda edición de la “**Noche europea de l@s investigador@s**”. El programa está compuesto por microcharlas, conferencias y talleres divulgativos para todos los públicos impartidos por investigadores de la Universidad de León. Profesores de la Facultad participaron en el evento organizando una visita virtual al Herbario Jaime Andrés -LEB- de la Universidad de León a través del canal YouTube de la Ule.

Correspondería en este punto comentar la celebración de la fiesta en honor a nuestro patrón San Alberto Magno, que lamentablemente ha tenido que posponerse hasta que la situación sanitaria lo permita. Esperemos que pronto podamos retomar su conmemoración, así como la celebración, sin ningún tipo de limitación, de las numerosas actividades en las que participa nuestra Facultad.

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

La edición electrónica de la revista se puede consultar en:

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

The logo features the word 'Ambiociencias' in a large, stylized font. 'Ambio' is in green, 'C' is in blue, and 'iencias' is in black. A blue dotted line extends from the bottom right of the 'C'. To the right of the 'C' is a circular emblem with a globe and a plant.

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA E INNOVACIÓN DOCENTE

En contraportada: logotipo diseñado por el Dr. Estanislao de Luis Calabuig como anuncio del quincuagésimo aniversario de los estudios de Biología en León.



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES. UNIVERSIDAD DE LEÓN