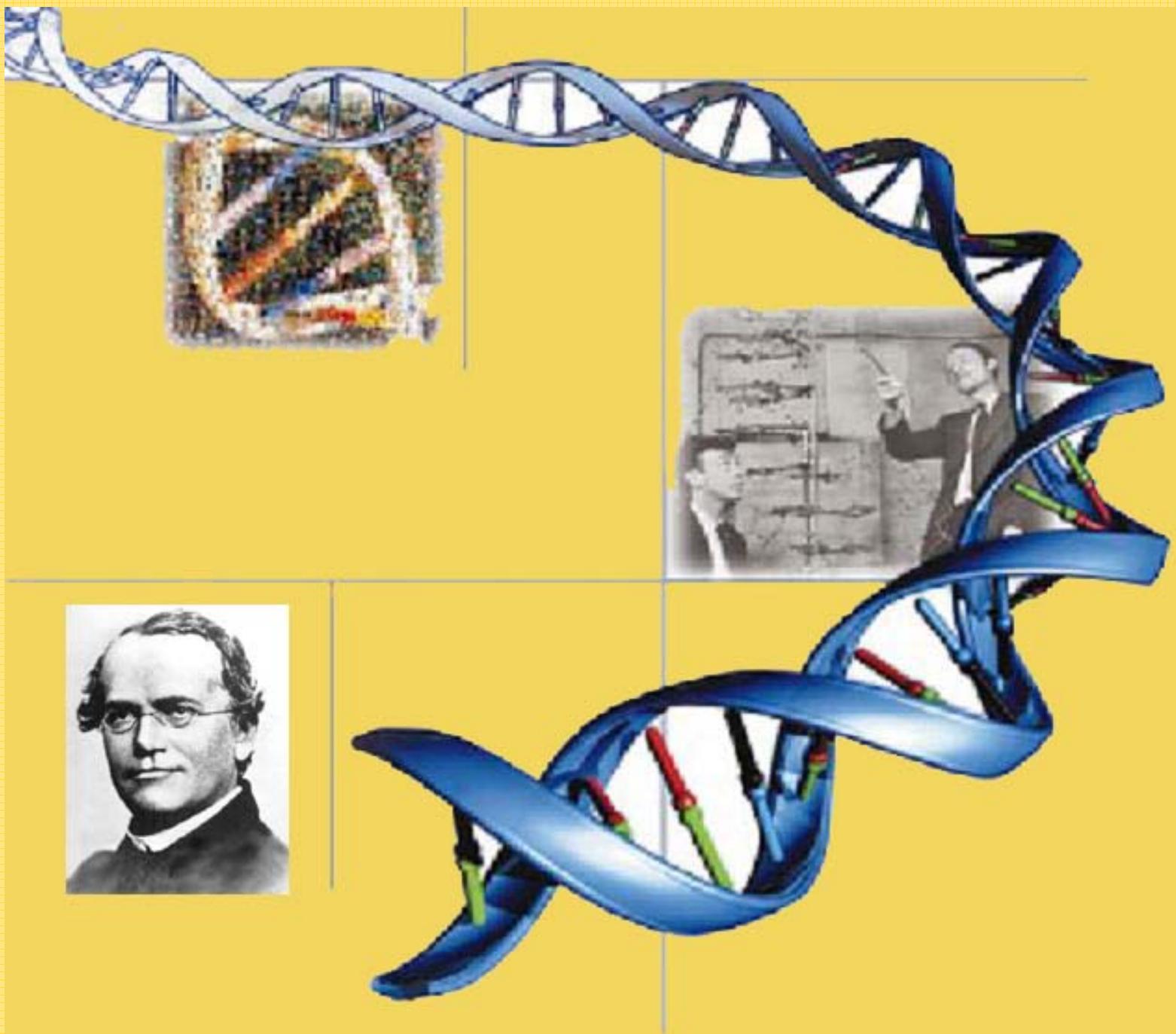


REBIO O

revista da facultade de bioloxía
da universidade de vigo



2007

REBIO O

revista da facultade de bioloxía
da universidade de vigo

2007

VOLUMEN 2



UNIVERSIDADE
DE VIGO

Facultade de Bioloxía

Esta publicación foi financiada con fondos procedentes da Facultade de Bioloxía da Universidade de Vigo.

REBIO

CONSELLO EDITORIAL

M ^a LUISA CASTRO CERCEDA	Profesora Titular da Área de Botánica. Dpto. de
PILAR MOLIST GARCÍA	Profesora Titular da Área de Bioloxía Celular. Dpto. de Bioloxía Fundamental e CC. da Saúde
MANUEL MEGÍAS PACHECO	Profesor Titular da Área de Bioloxía Celular. Dpto. de Bioloxía Fundamental e CC. da Saúde
MANUEL ÁNGEL POMBAL DIEGO	Profesor Titular da Área de Bioloxía Celular. Dpto. de Bioloxía Fundamental e CC. da Saúde
EMILIO GIL MARTÍN	Profesor Titular da Área de Bioquímica. Dpto. de Bioquímica, Xenética e Inmunoloxía
M ^a JESÚS IGLESIAS BRIONES	Profesora Titular da Área de Zooloxía. Dpto. De Bioloxía Animal e Ecoloxía
FUENCISLA MARIÑO CALLEJO	Profesora Titular da Área de Zooloxía. Dpto. de Bioloxía Animal e Ecoloxía
CARMEN SIEIRO VÁZQUEZ	Profesora Titular da Área de Microbioloxía. Dpto. de Bioloxía Fundamental e CC. da Saúde
JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ FERNÁNDEZ	Profesora Titular da Área de Botánica. Dpto. de Bioloxía Vexetal e CC. do Solo

ENMAQUETADO:

NURIA SÁNCHEZ OTERO	Alumna de 2º Ciclo de Bioloxía. Especialidade Bioloxía Fundamental e Sanitaria.
---------------------	---

EDITA:

DECANATO DA FACULDADE DE BIOLOXÍA

PEDRO PABLO GALLEGO VEIGAS	Decano
VICENTA SOLEDAD MARTÍNEZ ZORZANO	Vicedecana
CARMEN SIEIRO VÁZQUEZ	Vicedecana
PALOMA MORÁN MARTÍNEZ	Secretaria

IMPRIME: ARTES GRÁFICAS PRELO, S.L.

ISSN: 1886 - 6557

Dep. Legal: VG 647-2006

PRÓLOGO

Recién cumplido un siglo del nacimiento de Severo Ochoa (Luarca, 1905), la responsabilidad de prologar este segundo número de nuestra querida revista de Facultad se presenta como una oportunidad irrenunciable para reflexionar sobre el legado de este científico y español universal. Nosotros, biólogos en ejercicio o en formación, debemos tener conciencia clara de que la calidad y proyección actual de la Biología Molecular en España, su peso en la producción científica, en las transferencias de I+D o en la demanda de los diferentes estudios del ámbito de la biología o la salud es parte del fruto de la obra seminal de este hombre. Consciente, no obstante, de no ser capaz en las pocas líneas que siguen de dar la medida justa de esta importancia, he preferido ceñirme a una dimensión de su figura que todo iniciado en la investigación biológica imagino que conoce, y cuya consideración resulta especialmente pertinente suscitar ahora que nos hallamos nuevamente de mudanza, a las puertas de otra de tantas reformas de la enseñanza pública superior.

Es sabido que Severo Ochoa diseñó personalmente su carrera científica y que sometió al abrigo de una cuidada planificación la mayoría de las decisiones que le dieron forma como científico. Que un científico someta al designio de la racionalidad el curso de sus decisiones, no por infrecuente más allá de lo esperable en el seno de nuestra comunidad lo exceptúa a él de la norma de actuación de tantas otras personalidades de las ciencias y de las artes. Lo particular del caso de nuestro compatriota es que lo hiciera allá por los años 20 del pasado siglo siendo, precisamente, compatriota nuestro y utilizando unos patrones de corte moderno, conformes a la más rabiosa actualidad. Veamos. Era aquel un tiempo de profunda crisis social, económica y moral en Europa. Los estados se dolían del brutal fratricidio continental ensimismados en la afirmación política de sus esencias nacionales, encastillados en un proteccionismo reactivo y receloso de la eficacia de la tecnología de guerra alemana y de su poderoso brazo industrial, que tanta admiración habían merecido y tanto pavor sembrado durante la primera contienda mundial. Ajena a esta resaca bélica y a la catarsis de las potencias del entorno, España adolecía de una élite convencida del potencial de progreso económico –y militar– de un sistema nacional de investigación científica, y dilapidaba buena parte de su capital intelectual en una prolongada y compleja crisis de identidad en la que gravitaban el desmantelamiento de sus últimas posiciones coloniales, la debilidad económica y la inestabilidad política. En este laberinto desesperanzador no encontró Ochoa un obstáculo, sino un acicate a su ambición de hacerse una carrera investigadora a la medida, como lo prueba su capacidad de conciliar lo mejor del hacer nacional con la esmerada selección de sus incursiones en equipos europeos de primera línea.

Su despertar al interés por la investigación biológica se produjo en el instituto malacitano de Gaona de la mano de un excelente profesor de química, Eduardo García Rodeja. Una vez envenenado por la pasión de descubrir y decantada su vocación por la investigación médica, tomará la determinación de viajar a Madrid para cursar estudios en la Universidad San Carlos. Estos años son vitales en su maduración personal porque le permiten impregnarse de las mejores propuestas culturales y científicas que podía ofrecer nuestro país en aquel entonces, gracias a su estancia en la famosa Residencia de Estudiantes, donde conoce, por ejemplo, a Federico García Lorca, Salvador Dalí o Luis Buñuel, o traba contacto con insignes científicos visitantes como Einstein, Madame Curie o Cajal. Además, durante este tiempo se fragua su futuro rodar de trotamundos al caer bajo la tutela del catedrático de Fisiología Juan Negrín, figura eminente de la ciencia española de la época, futuro Presidente de la II República, cosmopolita de cuna y convicción y persona clave en la biografía de nuestro protagonista.

Finalizado su Doctorado en 1929, inicia un recorrido internacional por grupos de referencia que él mismo selecciona de cara a garantizarse una sólida formación bioquímica. Abreviando al límite el pormenor sobre más de medio siglo de ininterrumpida investigación de vanguardia, el joven Ochoa comienza su periplo internacional en Alemania, referente obligado de la ciencia de excelencia de buena parte de los siglos XIX y XX, primero en Berlín y en Heidelberg después, donde trabaja a las órdenes de Otto Meyerhoff (Nobel en Medicina en 1922). A continuación se traslada a Londres, esta vez a iniciarse en la Enzimología de la mano de Harold W. Dudley. Más adelante, en 1935, vuelve a casa, para incorporarse a la cátedra Juan Negrín y dirigir el Departamento de Fisiología del Instituto de Investigaciones Médicas (creado en la nueva Facultad de Medicina de la Ciudad Universitaria por el profesor Carlos Jiménez Díaz, otro grande de la ciencia de la época). Sin embargo, el retorno es fugaz, pues en 1936 se suma al éxodo de la Guerra Civil y pasa a integrar la trágica nómina del exilio español. En estos años, Ochoa viaja brevemente a Heidelberg antes de retornar a Inglaterra, inicialmente al Instituto de Biología Marina de Plymouth y más tarde al Departamento de Bioquímica de la Universidad de Oxford, bajo la dirección de Rudolph A. Peters. El estallido de la Segunda Guerra Mundial fuerza su viaje en 1941 a los Estados Unidos, donde encuentra refugio junto a un sinnúmero de científicos e intelectuales europeos perseguidos por el horror y la estupidez nazi. Allí trabaja el primer año, en la Saint Louis University de Washington, con el matrimonio Cori (Carl y Gerty, laureados con el Nobel en 1947), antes de trasladarse definitivamente a la Escuela de Medicina de la New York University, institución en la que le espera la etapa más productiva –y “sedentaria”– de su fértil carrera científica. Aquí su labor sobre la ARN polimerasa alcanza dimensión universal al merecer la concesión del premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1959, *ex aequo* con su discípulo Arthur Kornberg por su caracterización de la ADN polimerasa. Su biografía itinerante prosigue con una última etapa americana antes de producirse el retorno a España; en 1974 es nombrado Miembro Distinguido del Roche Institute of Molecular Biology en Nutley (New Jersey), donde trabaja hasta diciembre de 1985, fecha en que se produce su incorporación al Centro de Biología Molecular (bautizado con su nombre desde su creación en el año 75) para dirigir a un grupo de jóvenes investigadores.

Hasta aquí el recorrido de una figura eminente de nuestro oficio, presente aún en las pupilas de muchos de nosotros y abocado a un futuro icónico que irá cobrando forma en el hacer de aquellos de vosotros, jóvenes estudiantes e investigadores, que encontréis en su trayectoria un referente iluminador. Y así, hoy en que tanto se nos publicita la movilidad como talismán del nuevo milenio, que con tanto afán se nos convoca a docentes y alumnos a sumarnos entusiásticamente a un sinfín de programas de intercambio (y está bien), el irrefrenable combatiente antidoctrinario que llevo dentro reclama acogerse al ejemplo de nuestro viejo nómada de la bioquímica y recordar que un viaje de estudios que sume al aprendizaje regular (de lo que toca) la oportunidad de ensanchar los límites de lo cotidiano, es impecable como propuesta formativa. Ahora bien, como parte de lo que aparece a la vista en esta materia se me antoja menos salutífero de lo que proclama la publicidad institucional (sea, acaso, por mi rancio modo de entender las cosas), alerta contra el turismo de mochila y reclamo todo el afán por dejarse la piel aprendiendo de los mejores. Temo la endiablada pujanza de los tópicos del momento, como la poética del viajar o el esnobismo plurilingüe, porque puede conducirnos a canalizar nuestros esfuerzos a objetivos desenfocados en tiempo y lugar. Es claro, en mi opinión, que el crecimiento personal, el dominio idiomático o el cultivo del ocio creativo de cualquier índole no pueden reglarse como actividad académica superior; en el mejor de los casos, deberían sumarse a ésta, nunca convalidarse por ella. Y, sin embargo, lamentablemente algo de esto que critico entreveo y entreoigo en la fanfarria oficial y en el *off the record*. El proceso constituyente actualmente en curso de la Universidad española y europea, pretende reducir al mínimo los tiempos formativos de la mayoría de los egresados, lo cual urge, según mi parecer, la vuelta al testimonio vital de los grandes, al que convoco a todo a aquel que pose la mirada en estas líneas. Ochoa consagró su vida al conocimiento y en su busca circunvolucionó el orbe de la ciencia de su tiempo, pero reparemos en que su trashumancia nunca fue una frívola andadura en pro del *chic* internacional, sino un caminar incesante hacia donde se pudiera aprender más y mejor en cada momento. Qué mejor prueba de ello que, de entre los muchos viajes que hizo o el relumbrón de los muchos lugares que visitó, fuese su viaje interior, el de su firme determinación por conocer, el que acabara embarcándole en el más envidiable de los itinerarios imaginados; la inmortalidad.

Emilio Gil Martín.

PLANTAS CARNÍVORAS

M. A. GARCÍA SAAVEDRA, A. LÓPEZ NOGUEIRA,
D. MALLO ADÁN & O. MARTÍNEZ TRONCOSO

esemuchosavo@yahoo.es; tonionogueira@gmail.com; dmallo@alumnos.uvigo.es; rokichucho@hotmail.com

Alumnos 1º de Bioloxía, Materia: Botánica II (2005-2006), Universidade de Vigo

Profesores: Marisa Castro e José María Sánchez

Resumen: En este trabajo describimos los diferentes tipos de plantas carnívoras que habitan en nuestro planeta, comprenderemos por qué se ven obligadas a cazar y como logran capturar y digerir a sus presas.

Palabras clave: plantas carnívoras, adaptaciones plantas, estrategias nutricionales de plantas.

Resumo: Neste traballo describimos os diferentes tipos de plantas carnívoras que habitan no noso planeta, comprenderemos por qué se ven obrigadas a cazar e como logran capturar e dixerir as súas presas.

Palabras clave: plantas carnívoras, adaptacións plantas, estratexias nutricionais de plantas.

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos somos mamíferos y, como animales, tendemos a ver a las plantas como seres inofensivos y autótrofos.

La mayoría lo son, exceptuando a un centenar de diferentes especies distribuidas por los cinco continentes que son capaces de cazar y digerir animales, las plantas carnívoras.

Los caminos de la evolución son múltiples y variados y, en este sin fin de caminos evolutivos destacan las plantas carnívoras, que desarrollaron diversos mecanismos para absorber nutrientes a partir de otros organismos vivos. Con hasta seis mecanismos de alimentación diferentes, estos organismos nos muestran su gran diversidad y el por qué han conseguido un hueco en este frenético mundo.

Para la realización del trabajo se han utilizado diversos trabajos (ATTENBOROUGH, 1995; BLONDEAU, 2004; LUNAUTA WEB'S, 2005; REINHOLD, 2006; NA, 2007).

DESARROLLO

Todas las especies de plantas carnívoras conocidas viven en ecosistemas pobres en nutrientes como pantanos, ciénagas o laderas de montaña con elevada pendiente. Son ambientes donde los nutrientes del suelo son lavados continuamente por intensas lluvias, por un exceso de humedad, o por diversas circunstancias. El proceso de descomposición bacteriana de los restos orgánicos del suelo se realiza lentamente, por lo que la liberación de nutrientes al suelo es también muy lenta.

Algunas especies vegetales han conseguido desarrollar una estrategia evolutiva brillante, aunque simple, para adaptarse a es-

tos ambientes en principio inhóspitos para la vida vegetal. Esta estrategia consiste en complementar su dieta de CO_2 y sales minerales con nutrientes procedentes de la descomposición de cuerpos de animales, mayoritariamente insectos, que ellas mismas cazan.

El proceso de captura de presas es similar, en el método, al que utilizan muchos depredadores animales; primero se atrae a la presa, luego se captura y por último se digiere.

Antes de analizar cómo cazan estas plantas debemos aclarar que obtienen la mayor parte de los nutrientes a partir del agua y de las sales minerales del suelo, junto con la función clorofílica. La captura de insectos es solamente una actividad complementaria.

Aunque algunas especies de plantas carnívoras atraen a sus posibles víctimas con reclamos visuales, como manchas, franjas de colores vistosos o superficies brillantes, la mayoría atrae a los insectos con diversos aromas, olores y néctar, que producen y secretan a través de glándulas especiales.

Sin embargo, el proceso de capturar las presas es más variable ya que depende en gran medida de la morfología de las plantas. Dicha morfología es muy diversa en la totali-



Fig. 1. *Sarracenia*, planta carnívora con dispositivo pasivo de atrape (fotografía X. Martins)

dad de las especies carnívoras, a pesar de que generalmente se habla de hojas que conforman “trampas” o “dispositivos” de atrape, activos o pasivos.

En las especies de hojas convertidas en “jarros” o “trompetas” se habla de dispositivos pasivos que atraen a los insectos hasta que se introducen en sus estructuras trampa, luego se ahogan y son digeridas. En *Pinguicula vulgaris* (autóctona en Galicia) las hojas son pegajosas y los insectos se quedan adheridos al pasar sobre ellas, antes de ser digeridos.

En *Drosera*, y en especial en *Dionaea muscipola*, se habla de dispositivos activos, ya que las plantas, además de atraer a la presa, realizan diversos movimientos muy rápidos que ayudan a atraparla.

Una vez que la presa ha sido atrapada, sólo resta digerirla para así obtener los nutrientes que la planta busca. Las plantas carnívoras más primitivas no pueden digerir por sí solas los cuerpos. La digestión es realizada por bacterias que viven como simbiosis en su interior.

Las más evolucionadas secretan a través de glándulas jugos digestivos compuestos por diversas sustancias químicas ácidas que hidrolizan los cuerpos de las presas. Pueden llegar a ser muy potentes en algunas especies (contienen HCl) e incluso llegan a digerir por completo cuerpos de vertebrados que accidentalmente caen en las estructuras trampa.

Por último, comentamos las diferentes simbiosis que las plantas carnívoras pueden establecer, además de con microorganismos, con diversos animales, sobre todo con larvas de insectos que se vuelven inmunes a los jugos digestivos de estas plantas.

Son muchos los animales que se alimentan de los cuerpos o restos de cuerpos, que quedan en la planta como insectos, larvas, gusanos, cangrejos,... y también son muchos los animales que se alimentan de esos animales carroñeros o detritívoros.

La planta obtiene a cambio el carbono dejado por estos animales, así como los nutrientes procedentes de la digestión de sus excrementos, incluso a veces les proporcionan una cierta protección frente a herbívoros.

Para comentar la diversidad de las plantas carnívoras y explicar la captura de presas en mayor profundidad las hemos clasificado según el modo en el que realizan esta actividad, indicando algunos ejemplos.

Captura por «pelos pegajosos»

Las plantas carnívoras que presentan pelos pegajosos están agrupadas en el conjunto de atrapadoras pasivas, pues no realizan grandes movimientos para la caza de sus presas. Hay cinco géneros de plantas carnívoras que presentan esta estructura: *Drosera*, *Pinguicula*, *Byblis*, *Drosophyllum* y *Triphyophyllum*.

Las *Drosera* (unas 100 especies) son las plantas insectívoras más comunes. Denominadas “plantas de rocío” o “rocío del sol” por el efecto que produce la luz al incidir sobre sus gotitas. Se pueden encontrar en zonas pantanosas casi en cualquier parte del mundo (inclusive en Galicia), y podemos distinguir 5 grandes tipos: subtropicales, nórdicas, pigmeas o enanas, bulbosas y de Queensland.



Fig. 2. *Drosera*, hojas con pelos viscosos (fotografía M. Castro)

Sus formas y tamaños varían desde pequeñas rosetas con apenas unos milímetros de diámetro hasta arbustillos con hojas pequeñas y redondas o largas y finas. Presentan el haz de la hoja recubierto de pelos verdes o rojizos terminados en una glándula prominente que excreta un fluido pegajoso transparente similar a una gota de rocío. Los insectos se ven atraídos por su aroma parecido a la miel y al posarse sobre la hoja, o tocarla levemente, quedan sujetos por los pelos pegajosos, que se curvan hacia adentro y comprimen a la víctima junto a la superficie donde es digerida. Puede tardar desde un minuto a varias horas en cerrarse. Luego, pasan entre 7 y 14 días hasta que los tentáculos de la *Drosera* se abren completamente.

Para que se realice el movimiento de los pelos al atrapar el insecto es necesario que las células en un lado de los tentáculos crezcan, mientras las del otro lado se encogen, produciendo así una curvatura en el pelo que es lo que provoca el movimiento.

Las plantas del género *Pinguicula* (unas 70 especies) tienen hojas en roseta, de consistencia carnosa, casi suculentas, por lo que reciben el nombre de “grasillas”. Sobre las hojas hay pequeños tentáculos, apenas visibles que segregan un líquido viscoso que

los recubre, donde se quedan pegados los insectos. Al recibir el estímulo generado por la captura las hojas se curvan formando un pequeño molde que se llena de líquido digestivo. La digestión y absorción del alimento se produce sobre la propia hoja. En algunas ocasiones, este tipo de plantas se utilizan para controlar plagas de insectos.



Fig. 3. Planta de *Pinguicula* en flor (fotografía A. Pulido)

Existen especies de *Pinguicula* nórdicas y subtropicales o mexicanas, aunque se pueden encontrar en otras zonas. Así, en España se observan, entre otras, *Pinguicula nevadensis*, endémica el Parque Natural de Sierra Nevada, y *Pinguicula vulgaris*, en Galicia y otras comunidades del norte de España.

Las también denominadas “planta arco iris”, *Byblis* (unas 5 especies), se encuentran en el norte y oeste de Australia. Son plantas anuales con floración abundante y colorida. Tanto el tallo como las hojas y los pedúnculos florales están cubiertos por tentáculos que segregan gotitas pegajosas que en plena luz brillan en todos los colores del arco iris.

A diferencia de *Drosera*, los tentáculos son inmóviles, de modo que su estrategia consiste en atraer insectos voladores mediante

sus gotitas relucientes. Estos se posan sobre la planta y quedan pegados a ella. Después, las enzimas descomponen las partes blandas y son absorbidos los nutrientes.

En *Drosophyllum lusitanicum* (única especie del género) existen tentáculos en los tallos, hojas y pedúnculos foliares, y alternan dos tipos de glándulas: unas secretoras de un jugo viscoso y otras productoras de enzimas.

Los insectos voladores son atraídos por el olor a miel que despiden la planta y por las relucientes gotas pegajosas. Al posarse sobre las hojas quedan adheridos a los tentáculos, que segregan cada vez más sustancia viscosa. Las presas mueren ahogadas por el mucílago o de hambre. Posteriormente, son degradadas por enzimas y los nutrientes absorbidos por las numerosas glándulas que existen sobre las hojas. Habita en zonas de montañas pedregosas de la Península Ibérica y Oeste de Marruecos.

Y, por último, *Triphyophyllum peltatum* (también única en este género) posee sistemas de captura casi idénticos a *Drosophyllum*. Es una planta africana, carnívora temporal, ya que solo actúa como tal cuando es joven o cuando se le corta; de adulta funciona como una liana normal. Esta especie está en grave peligro de extinción.

Captura por «urnas sin tapa»

Este tipo de captura lo presenta el género *Heliamphora* (8 especies). Desarrolla una caza pasiva pues no hace ningún tipo de movimiento para atrapar a sus presas. También se le conoce como el “jarro de las marismas”. Es la planta carnívora más primitiva y sólo se encuentra en una pequeña región de Sudamérica. Puede variar entre 10 cm y

más de 4 m de altura.

Su rizoma produce brotes que pueden ramificarse o formar directamente los “jarros” que se desarrollan en forma de rosetas. Los jarros están abiertos y se llenan de agua de lluvia. Los más grandes tienen un agujero lateral para regular el nivel del agua y, en la parte superior, presentan pequeños capuchones que segregan el néctar con el que atraen a los insectos. Debido a las paredes resbaladizas que tienen, los insectos caen al interior donde son descompuestos por diferentes bacterias que viven en el agua, para ser posteriormente absorbidos por la planta.

Captura por «urnas con tapa»

Este tipo de captura está más perfeccionado que el anterior ya que el poseer tapa evita la entrada de lluvia, las sustancias digestivas están mucho más concentradas y digieren los insectos a mayor velocidad. Son 4 los géneros que presentan esta modificación: *Darlingtonia*, *Sarracenia*, *Nepenthes* y *Cephalotus*.



Fig. 4. *Sarracenia*, hojas con tapa (fotografía X. Martins)

El género *Darlingtonia* (con una especie, *D. californica*) procede de California y es también conocido con el nombre de “planta cobra”. Puede alcanzar los 90 cm de altura. Presenta peculiares jarros que se curvan

180° durante el crecimiento de modo que el orificio de entrada está en la parte inferior del jarro, donde tiene una estructura que recuerda a una lengua bífida (de ahí el nombre común). En la parte superior del jarro hay zonas donde la pared es casi transparente. Estas zonas iluminan el interior del jarro, lo que les transmite a los insectos una falsa sensación de seguridad que, sumado al olor a néctar, induce a las presas a que entren. Una vez dentro, no encuentran la salida y acaban cayendo al fondo del jarro. Las paredes lisas impiden que los insectos puedan salir del fondo y con ayuda de las bacterias simbiotas del interior se produce la degradación y posterior absorción de nutrientes.

Las *Sarracenia* (8 especies) son conocidas con el nombre de “plantas trompeta”, debido a la forma de sus jarros. Se encuentran principalmente en el este de EEUU y de Canadá y su forma y tamaño son muy variables, pudiendo medir desde 20 cm hasta un máximo de 1,20 m. Están constituidas por un rizoma del que crecen, vertical u horizontalmente, unos jarros huecos provistos de una tapa en la parte superior. En el fondo contienen líquidos digestivos provistos de enzimas que facilitan la absorción de la presa. Los insectos atraídos por el olor a néctar que desprenden los jarros se adentran en su interior. Una vez dentro, las lisas paredes y unos pelos dirigidos hacia abajo impiden que la presa pueda salir, ahogándose en los líquidos digestivos.

Las plantas del género *Nepenthes* (unas 98 especies) poseen una distribución bastante amplia, principalmente en las islas del sur asiático. Pueden encontrarse tanto en tierras bajas como altas y llegar a presentar

un tamaño superior a los 15 m con jarros entre 5 y 40 cm.

Son generalmente conocidas como “plantas jarro” porque las trampas nacen a partir de un zarcillo de una hoja que normalmente se sujeta a otra planta, da una vuelta y se hincha formando la trampa. Estos jarros presentan tapa superior y bordes dentados que facilitan la entrada de los insectos no voladores. Alrededor de estos bordes hay glándulas que segregan el néctar que atrae a los insectos. Como los bordes están recubiertos de una especie de cera, las presas caen al interior donde son digeridos por los líquidos digestivos que hay en el fondo.

Hay casos extraños en los que existe una colaboración entre un insecto y la planta carnívora, como ocurre en *Nepenthes bicalcarata*, que genera una estructura donde viven hormigas. Estas seleccionan de las presas de la planta ciertas partes de los insectos que luego se comen y lo que no necesitan lo devuelven a la planta, beneficiándose ésta al recibir el alimento troceado.

El conocido como “jarrito enano”, *Cephalotus follicularis*, tan sólo se encuentra en una pequeña zona del sudoeste australiano. Tiene la peculiaridad de presentar un crecimiento heterogéneo, en invierno y primavera produce grandes hojas no carnívoras y en verano y otoño las trampas jarro, que no sobrepasan los 5 cm. En los días calurosos las tapas se inclinan hacia abajo para evitar que los líquidos digestivos se evaporen.

Esta planta se vale del néctar que secreta en el borde del jarro y en las ventanitas transparentes que posee la tapa para atraer a sus presas. Como la parte superior de éstos es más estrecha que la parte inferior, una vez que las presas (principalmente hor-

migas) caen al fondo, y al no pueden subir mueren ahogadas. Las enzimas producidas por la planta se encargan de degradar la presa.

Captura por «trampas tipo nasa»

Se trata de un método peculiar presente tan sólo en el género *Genlisea* (21 especies), que al igual que en los casos anteriores no realiza movimientos para atrapar a sus presas, denominándose caza pasiva. Se encuentra principalmente en Madagascar y Sudamérica.

Estas plantas, en lugar de raíces, tienen hojas modificadas en forma de tubo que se abren en la parte inferior (en forma de "V" invertida). Los tubos, que desprenden sustancias químicas que atraen a los microorganismos, tienen tricomas dirigidos hacia arriba y confluyen en una zona dilatada. Las presas, influenciadas por las sustancias excretadas, avanzan hasta llegar a la cámara dilatada, donde son digeridos por enzimas producidos por la propia planta.

Captura por «vejigas de succión»

Esta forma de cazar, presente tan sólo el género *Utricularia* (unas 220 especies), se caracteriza principalmente por poseer trampas activas, es decir, que realizan movimiento para atrapar a las presas. Este género se encuentra ampliamente distribuido, aunque está mejor representado en América del sur. Presenta hábitat y tamaño muy variables, con especies acuáticas, terrestres o epifitas y con tamaños comprendidos entre 1 cm y más de 2 m.

Tienen hojas muy pequeñas y vesículas subterráneas vacías en el interior, ya que carecen de raíces. Cuando son rozadas por

un animal de pequeño tamaño se activan, se abre la trampilla y se llenan de agua. En este proceso también son succionadas las presas, que serán digeridas en el interior. Sus restos, junto con el agua, son expulsados hacia el exterior, restableciendo el vacío. El movimiento completo de apertura y cierre de las vesículas tan sólo dura 0,015 s, por lo que se considera el movimiento más rápido del reino Vegetal.

Captura por «cepos»

Las plantas que presentan este método de capturan son también cazadoras activas, puesto que realizan movimientos para poder cazar a sus presas. Este tipo lo presentan los géneros *Dionaea* (*D. muscipula*) y *Aldrovanda* (*A. vesiculosa*).



Fig. 5. Hojas de *Dionaea*, dispositivo activo (fotografía M. Castro)

Dionaea muscipula, llamada "Venus atrapamoscas", es quizás la planta carnívora más conocida. De forma natural se observa mayoritariamente en EEUU, aunque se puede adquirir fácilmente en floristerías. Es una planta terrestre con hojas en roseta, con 10 a 20 cm de diámetro y hasta 10 cm de alto; con al menos 5 hojas alargadas que acaban en una estructura trampa formada por 2 lóbulos redondeados o elipsoidales que poseen de 14 a 20 dientes. En el interior de estos lóbulos se encuentran generalmente 3

tricomas excitables (mecanismo de acción de la trampa) y muchas glándulas digestivas, que además de secretar las enzimas hidrolizantes secretan el néctar que atrae a los insectos.

Cuando un insecto toca uno de los tricomas 2 veces ó 2 tricomas distintos en un intervalo de 20 segundos, éstos generan un pequeño impulso eléctrico que provoca que se cierre la trampa en unos 0,03 s, los dientes se entrelazan y el insecto queda atrapado a merced de las enzimas digestivas. El insecto se sigue moviendo por lo que seguirá estimulando la trampa hasta su muerte.

Una planta, cada vez menos común, de Europa, Asia, África y Australia, que se encuentra flotando en aguas quietas y tranquilas es *Aldrovanda vesiculosa*. Su tamaño puede alcanzar hasta 30 cm de longitud. Está formada por un tallo con numerosos verticilos, con 5 a 9 hojas por cada uno, terminadas en una trampa. La estructura es muy parecida a la anterior y funcionan por el mismo mecanismo; pero son más pequeñas y con más pelos sensibles. Por este motivo sus víctimas son de menor tamaño (larvas de mosquito, pulgas de agua, etc.).

CONCLUSIÓN

Tras realizar este trabajo, hemos podido observar como diferentes adaptaciones evolutivas realizan una misma función con una eficacia similar, siendo todas válidas.

Podemos concluir diciendo que deberíamos tener un poco más en cuenta a los vegetales, darnos cuenta de que son seres vivos como nosotros y, como hemos visto, algunos incluso se alimentan de animales.

BIBLIOGRAFÍA

ATTENBOROUGH, D. 1995. *La vida privada de las plantas*. Ed. Planeta.

BLONDEAU, G. 2004. *El gran libro de las plantas carnívoras*. Ed. de Vecchi, Barcelona.

LUNAUTA WEB'S. 2005. Bazar el lunauta en <http://www.lunauta.net>.

NA, M. 2007. Especies de plantas carnívoras en <http://www.infojardin.com/plantas-carnivo-ras/tipos-especies-plantas-carnivoras.htm>.

REINHOLD, P. 2006. Portal carnívoro en <http://www.portalcarnivoro.es>.

ANÁLISE DOS EPÍTETOS ESPECÍFICOS DE PLANTAS VASCULARES GALEGAS

A. AMEDO OTERO, A. BUENDÍA MONTESINOS,
C. CARBALLO DE DIOS & M. FERNÁNDEZ MARTÍN

alameot@hotmail.com; ana_namor@hotmail.com;crisc25_03@hotmail.com;
unquestionable_presence@hotmail.com

Alumnos 1º Bioloxía, Materia: Botánica II (2005-2006), Universidade de Vigo

Profesores: Marisa Castro e José María Sánchez

Resumen: En este trabajo se realiza una recopilación de los epítetos específicos correspondientes a plantas vasculares de Galicia y se hace un análisis comparado de los significados.

Palabras clave: Galicia, plantas vasculares, epítetos específicos.

Resumo: Neste traballo realízase unha recompilación dos epítetos específicos correspondentes a plantas vasculares de Galicia e faise unha análise comparada dos seus significados.

Palabras clave: Galicia, plantas vasculares, epítetos específicos.

INTRODUCCIÓN

Ao longo da historia da Humanidade xurdiu a necesidade de nomear aos organismos vivos que se atopaban no entorno co fin de poder referirse a eles. As plantas non foron unha excepción, así apareceron os primeiros nomes vernáculos ou comúns.

Nun principio esta necesidade céntrase naqueles seres vivos que lle aportaban algo útil ó home; pero co tempo o obxectivo dos nomes foi o de identificar aos diferentes tipos de seres vivos para a súa posterior clasificación.

Co tempo, e co desenvolvemento da Botánica como ciencia, xurdiron unha serie de problemas para nomear ás plantas, xa que os nomes comúns non son universais, só poden aplicarse a unha lingua, a rexións moi concretas e nalgún caso dúas ou máis plantas non relacionadas presentan o mesmo nome vernáculo ou unha mesma planta ten diferentes nomes comúns que se aplican indistintamente a xéneros, especies ou variedades. Estes problemas tentaron solucionarse establecendo unha nomenclatura científica e unhas regras, que foron recompiladas no Código de Nomenclatura Botánico.

Os primeiros intentos para dar orde e estabilidade á nomenclatura se fixeron mediante denominacións polinomiais en lingua latina, é dicir, unha descrición con frases breves en latín, que crecía a medida que se encontraban novas especies semellantes GRUPO DOTEINE (2006). Así, a "herba gateira" (*Nepeta cataria* L.) mencionábase como: *Nepeta floribus interrupte spiculatus pedunculatis* (*Nepeta* con flores nunha espiga pedunculada interrompida).

Non foi ata 1753 ca publicación, polo botánico sueco Carl von Linné (*Carolus Linnaeus*, 1707-1788), da obra *Species Plantarum* que universalizou un sistema de nomenclatura moito máis eficaz, o sistema binomial, que se continúa empregando ata hoxe. Este tipo de nomenclatura fora xa adoptada anteriormente polo suízo Gaspar Bauhin (1560-1624).

Na nomenclatura binomial o nome dunha especie componse de 2 palabras: xénero e especie. O nome xenérico é un substantivo en singular e aínda que non é descritivo, algunhas veces pode indicar características das plantas adscritas a el, outras veces está referido á memoria dun personaxe coñecido e outras é unha latinización dun nome vernáculo moi popular. O nome específico é un adxectivo cualificativo (epíteto); por conseguinte indica unha característica ou unha aplicación dada ao individuo adscrito a el, o hábitat, a localidade ou homenaxea unha persoa ou unha localidade.

Na actualidade a nomenclatura asóciase á taxonomía, que é un disciplina científica biolóxica que ten como obxectivo crear sistemas de clasificación que expresen da mellor maneira posible os diversos grados de semellanza entre os organismos JUON e col. (1999). Dende as primeiras civilizacións tentouse establecer unha clasificación dos seres vivos, esta foi a base da taxonomía actual e a súa evolución ao longo da historia é clave para explicar a nomenclatura científica moderna, regulada polo Código de Nomenclatura Botánica (última edición McNEILL e col., 2006).

Este Código, sometido a revisións periódicas, indica as regras a seguir para nomear os taxon. Entre elas destacan:

1. O nome ten que estar en latín ou unha palabra latinizada, xa que é unha lingua morta.

2. Os nomes dos taxons, ata o xénero, teñen a terminación propia, por exemplo o *phyllum* en -phyta, a clase en -opsida, a orde en -ales, a familia en -acea, etc.

3. O xénero, ou nome xenérico, debe ser unha palabra latinizada, comezar por maiúsculas, e ir en cursiva o subliñado dentro dun texto. Por exemplo, *Achillea*

4. Para nomear a especie emprégase a nomenclatura binomial difundida por Linneo, que comprende o nome xenérico e o nome específico, así ao falar da especie saberemos a que xénero pertence. O epíteto específico debe ir en minúsculas e concordar co nome xenérico e tamén en cursiva ou subliñado, por exemplo *Achillea millefolium*.

5. Para referirnos a unha especie descoñecida empregase a abreviatura *sp* (plural *spp*), que se sitúan despois do xénero e para referirnos a categorías

inferiores utilízase o nome completo.

6. Cando se describe unha nova especie hai que gardar un exemplar tipo (prego) depositado nun herbario oficial, debidamente etiquetado co lugar, data de recollida, hábitat, nome do recolledor e de quen o clasifica.

METODOLOXÍA DE TRABALLO

Antes de comezar coa análise estatística dos epítetos, partindo da obra de LOSADA CORTINAS e col. (1992), creouse unha base de datos empregando o programa Microsoft Excel. Esta base consta de 753 especies de plantas da flora galega, agrupadas en 110 familias distintas. Documentándonos coa obra de "Flora Ibérica (CASTROVIEJO, 1986, 1990, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2005), dicionarios de latín e a axuda dos profesores da materia, buscouse o significado de cada un dos epítetos específicos da base de datos.

A continuación clasificáronse segundo o seu significado nas seguintes categorías:

FAMILIA	XÉNERO	EPÍTETO ESPECÍFICO	SIGNIFICADO	CATEGORÍA
ASPLENIACEAE	<i>Ceterach</i>	<i>officinatum</i>	usado en farmacias	medicinal
ASTERACEAE	<i>Aster</i>	<i>tripolium</i>	tres follas	carácter cuantitativo
ASTERACEAE	<i>Leucanthemum</i>	<i>vulgare</i>	común	típica
CRASSULACEAE	<i>Sedum</i>	<i>anglicum</i>	inglés	xeográfico
FAGACEAE	<i>Castanea</i>	<i>sativa</i>	cultivada	uso
LAMIACEAE	<i>Mentha</i>	<i>longifolia</i>	follas longas	carácter cualitativo
FABACEAE	<i>Medicago</i>	<i>lupulina</i>	de lobo	outros
LINACEAE	<i>Linum</i>	<i>bienne</i>	bianual	ecoloxía
PLANTAGINACEAE	<i>Plantago</i>	<i>atra</i>	negro	cor
ROSACEAE	<i>Agrimonia</i>	<i>eupatoria</i>	-----	descoñecido
ROSACEAE	<i>Prunus</i>	<i>cerasus</i>	cereixo	nome vulgar
VIOLACEAE	<i>Viola</i>	<i>riviniana</i>	Rivinus, botánico	homenaxe

Fig. 1. Exemplos de clasificación dalgúns epítetos segundo o seu significado.

Se analizamos cada unha das tres familias por separado observamos que na familia Leguminosas ou *Fabaceae* (Fig. 3) hai unha grande porcentaxe de plantas que están agrupadas na categoría “características cualitativas” (44,9%), aínda que tamén son salientables as categorías da “cor” (12,24%), “xeográfico” e

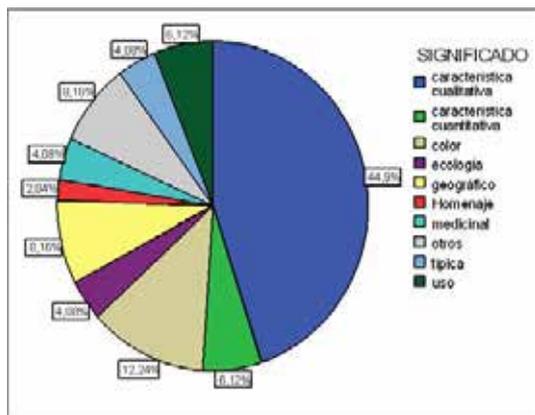


Fig. 3. Gráfico de porcentaxes nas diferentes categorías na familia Leguminosas.

“otros” (8,16%). A categoría menos representativa é a que corresponde aos epítetos dados en “homenaxe” a alguén (2,04%). A esta familia pertencen algunhas plantas útiles para o home, como fabas, xudías, chícharos, lentellas, ademais de xestas, toxos, entre outros.

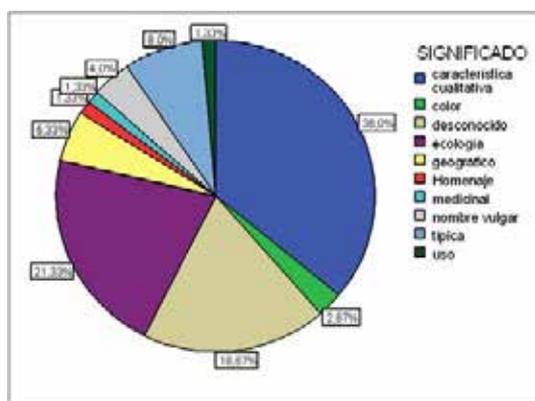


Fig. 4. Gráfico de porcentaxes nas diferentes categorías na familia Compostas.

Dentro da familia das Compostas ou *Asteraceae* (Fig. 4) pódese observar que a categoría de “ecoloxía” ten un papel destacado (21,33%), aínda que tamén é importante a porcentaxe que queda no apartado de “descoñecido” (18,67%). As que menos representación teñen dentro desta familia son “uso” (1,33%) “medicinal” e “homenaxe” (1,33%) e outras como “característica cuantitativas” ou “outros” nin aparecen.

E, dentro da familia Gramíneas ou *Poaceae* (Fig. 5) o máis salientable é que case as 3/4 partes das especies estean agrupadas dentro da categoría “características cualitativas” (52,17%), “ecoloxía” (17,39%) e “xeográfico” (6,52%),

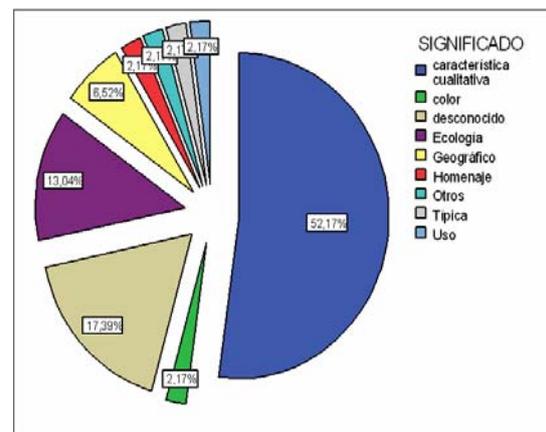


Fig. 5. Gráfico de porcentaxes nas diferentes categorías na familia Gramíneas.

ademais de que unha porcentaxe importante (17,39%) non coñecemos o seu significado (categoría “descoñecido”). Tres das categorías non teñen representación e a representación do resto é case anecdótica da anecdótica representación que teñen as outros cinco grupos.

BIBLIOGRAFÍA

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1986. *Flora*

Ibérica: *Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 1: *Lycopodiaceae-Papaveraceae*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1990. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 2: *Platanaceae-Plumbaginaceae (partim)*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1995. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 3: *Plumbaginaceae (partim)-Capparaceae*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1996. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 4: *Cruciferae-Monotropaceae*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1997. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 8: *Haloragaceae-Euphorbiaceae*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 1999. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 7(1): *Leguminosae (partim)*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 2000. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 7(2): *Leguminosae (partim)*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

CASTROVIEJO, S. (coord.). 2005. *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. 21: *Smilacaceae-Orquidaceae*. CSIC. Real Jardín Botánico de Madrid (obra incompleta).

GRUPO DOTEINE. 2006. Tesouro de Biología: Nomenclatura en <http://doteine.uc3m.es/tesauros/biologia/>

JUON, N.S., CAMBELL, C.S., KELLOGG, E.A. & STEVEN, P.F. 1999. *Plant systematic: a phylogenetic approach*. Sinaver Associated Inc., Sunderland.

LOSADA CORTINAS, E., CASTRO GONZÁLEZ, J. & NIÑO RICO, E. 1992. *Nomenclatura vernácula da flora vascular gallega*. Servicio de estudos e publicacións. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

MCNEILL, J., BARRIE, F.R., BURDET, H.M., DEMOULIN, V., HAWKSWORTH, D.L., MARHOLD, K., NICOLSON, D.H., PRADO, J., SILVA, P.C., SKOG, J.E., WIERSEMA, J.H. & TURLAND, N.J. (eds.). 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code) adopted by the Seventeenth International Botanical Congress Vienna,

CLONACIÓN

B. I. Fernández Gil; I. García Moreiras;
J. Irisarri Cal & G. Loureiro Abalde

Bea_fernandez@alumnos.uvigo.es, iriagarciamoreiras@hotmail.com, surfermermaid@hotmail.com, glourei-
ro@alumnos.uvigo.es

Alumnos 1º Bioloxía, Materia: Citoloxía e Histoloxía Animal e Vexetal (2005-2006),
Universidade de Vigo. Profesores: Manuel Megías, Pilar Molist e Manuel Ángel Pombal.

Resumen: Este trabajo desarrolla brevemente la clonación, sus técnicas y los problemas éticos surgidos a raíz de ella.

Resumo: Este traballo desenvolve brevemente a clonación, as súas técnicas e os problemas éticos xurdidos a raíz dela.

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, la clonación está relacionada con la reproducción asexual, cuyas réplicas son copias genéticas idénticas al progenitor. Las primeras clonaciones artificiales se consiguieron utilizando plantas (por ejemplo reproducción mediante esquejes). Posteriormente, en 1952, y tras algunos intentos, John Gurdon consigue clonar sapos de la especie *Xenopus laevis*. Ya en los años 80 encontramos los primeros intentos de clonación en mamíferos, pero estos ensayos hechos con ratones fueron fallidos. En la década de los 90 los experimentos proliferan. Los ensayos persiguen el refinamiento de las técnicas que culminan en 1997 con el anuncio al mundo de la existencia de la oveja Dolly. Es en esta década cuando surgen las primeras controversias sobre la posibilidad de clonar humanos. Al mismo tiempo, la comunidad científica duda de la veracidad de los anuncios de clonaciones en humanos puesto que hasta el momento no hay pruebas de que sea verdad.

Ya entrado el siglo XXI se asientan las bases para su aplicación científica y comercial. La clonación como tal se consolida.

CONCEPTOS CLAVE

La clonación es el conjunto de todas aquellas técnicas que dan lugar a la creación de un organismo o línea celular con idéntica dotación genética del ser o célula del que se parte. Por lo tanto, un clon no es más que una copia genética del ser del que procede. Este hecho no implica una identidad morfológica similar por parte del clon, así los gemelos son copias genéticas, clones entre sí, y mantienen identidades bien distintas el uno del otro.

Al contrario de lo que pudiera parecer, los clones son bastante frecuentes en la naturaleza (tumores, organismos con reproducción asexual como bacterias, protozoos o levaduras, organismos con reproducción por escisión como hidras, lombrices o estrellas de mar, plantas que proceden de la reproducción vegetativa, gemelos, etc). Actualmente se están desarrollando técnicas para la creación de clones artificiales que podrían llegar a tener un gran interés económico.

Expresión génica: No todos nuestros genes suelen ser operativos en todas las células. Existe una relación inversa entre especialización y cantidad de información genética expresable: las células diferenciadas (hepatocitos, miocitos, neuronas) posiblemente sólo expresan alrededor del 10% de sus genes como contrapartida a su especialización.

Célula madre: En biología, se denomina así a aquella célula que se encuentra en un estado indiferenciado capaz de diferenciarse en (de producir) otras células más especializadas. Una célula madre cuando se divide es capaz de generar una célula igual a sí misma y otra diferente especializada, cuando y donde tal división sea necesaria. Es decir, una célula sigue como indiferenciada y mantiene la capacidad de proliferar, mientras que la otra se especializa. Esta definición engloba a cualquier célula madre.

Una característica fundamental de las células madre es que tienen capacidad de autorregeneración (en el cuerpo o en una placa de cultivo) de forma indefinida. Puesto que al dividirse siempre forman al menos una célula idéntica a ellas mismas, manteniéndose siempre una población de células madres.

Existen tres tipos de células madre: totipotentes, pluripotentes, y multipotentes. Básicamente, en biología se trabaja con dos tipos: la célula madre por excelencia el cigoto, que es totipotente y dará lugar a las células madre embrionarias pluripotentes del embrión, y con células madre multipotentes de capacidad más limitada para generar células especializadas. Hay que aclarar un punto: aunque las células de la masa celular interna del blastocisto son pluripotentes, no son en sí mismas células madre, según la definición dada anteriormente, porque no se mantienen indefinidamente como tales in vivo, sino que se diferencian sucesivamente en los diversos tipos celulares durante la fase intrauterina. Lo que ocurre es que cuando se extraen del embrión y se cultivan in vitro bajo ciertas condiciones, se convierten en células "inmortales" dotadas con las dos propiedades ya comentadas: autorrenovación y pluripotencia. En el contexto de la actual investigación se pretende obtener células madre que se mantengan como tales en cultivo en el laboratorio y que al ser estimuladas adecuadamente se pueden obtener poblaciones de células diferenciadas para ser utilizadas en la reparación o susti-

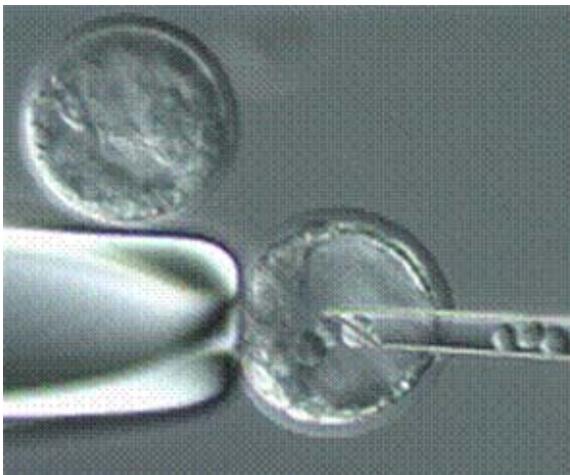


Fig. 1. Técnicas de microinyección

tución de órganos y tejidos defectuosos.

Perspectivas con las células madre embrionarias (CME)

El potencial terapéutico de las CME se pondría de manifiesto sobre todo empleando las derivadas del propio paciente, ya que no habría problemas de rechazo de injertos: estaríamos ante un autotrasplante. Pero ¿cómo es posible esto en un individuo ya nacido, si por definición estas células proceden de embriones? Este es el principal problema hasta ahora de las células madre, que hay que crear embriones de los que obtener células madre potencialmente útiles para su uso terapéutico y en investigación.

Aquí es donde entraría el método de transferencia de núcleos a partir de una célula somática que veremos más adelante (Fig.1).

Hay varios problemas éticos y algunas implicaciones sociales de todas estas técnicas, pero para adentrarnos en este tema conviene conocer dos conceptos: el de Ética (filosofía moral o disciplina filosófica que estudia las reglas morales y su fundamentación) y el de Moral (define nuestras acciones en aceptables o no aceptables).

Como podemos ver, el asunto trasciende claramente la biología por lo que intentar sustentar científicamente un problema que es esencialmente ético (o moral) no es productivo porque se pueden encontrar argumentos a favor o en contra de forma que siempre habrá alguno en el que apoyarse. Aunque puede que la propia ciencia esté en camino de solventar este dilema ético. Investigadores norteamericanos han conseguido obtener un tercer tipo de célula madre denominadas las células madre pluripotentes inducidas. Estas células son células ma-

dre adultas capaces de desdiferenciarse a células madre embrionarias. Este reciente descubrimiento implicaría la obtención de clones sin necesidad de usar embriones (Werning y col. 2007).

TÉCNICAS DE CLONACIÓN ANIMAL

Hay diversas técnicas para obtener clones animales:

1. División artificial de embriones: en la fase de mórula, ésta se puede dividir en dos para obtener dos embriones. La bisección embrionaria se puede hacer en estado de blastocisto. En este caso tendremos que cortar por la mitad la masa celular interna. A cada parte resultante se le llama demiembrión o hemiembrión.

2. Transferencia de núcleos (Fig. 2). Se necesita un núcleo donante y un citoplasma receptor. Los primeros experimentos se realizaron en el anfibio *Rana pipiens* porque posee oocitos de gran tamaño. Se transfirieron

núcleos de células de blástula a oocitos previamente enucleados con micropipetas. Posteriormente la transferencia se realizó a partir de núcleos de células epiteliales de intestino de renacuajo, consiguiendo el desarrollo hasta sapos adultos. En el proceso se irradia el huevo para destruir el ADN materno e inyectar el núcleo donante. Los estudios anteriores en el transplante de núcleos, tanto en anfibios como en mamíferos, fallaron por la incompatibilidad en el ciclo celular entre el núcleo donante y el oocito receptor, llevando a la aparición de alteraciones cromosómicas que impiden el desarrollo embrionario. El núcleo donante se encontraba en fase S o G2 del ciclo celular, siendo incompatible con el oocito receptor que se encontraba parado en la metafase II. Cuando el núcleo en fase S o G2 es introducido dentro de un oocito en metafase II, éste tiende a sufrir una replicación adicional del ADN y una condensación prematura de los cro-

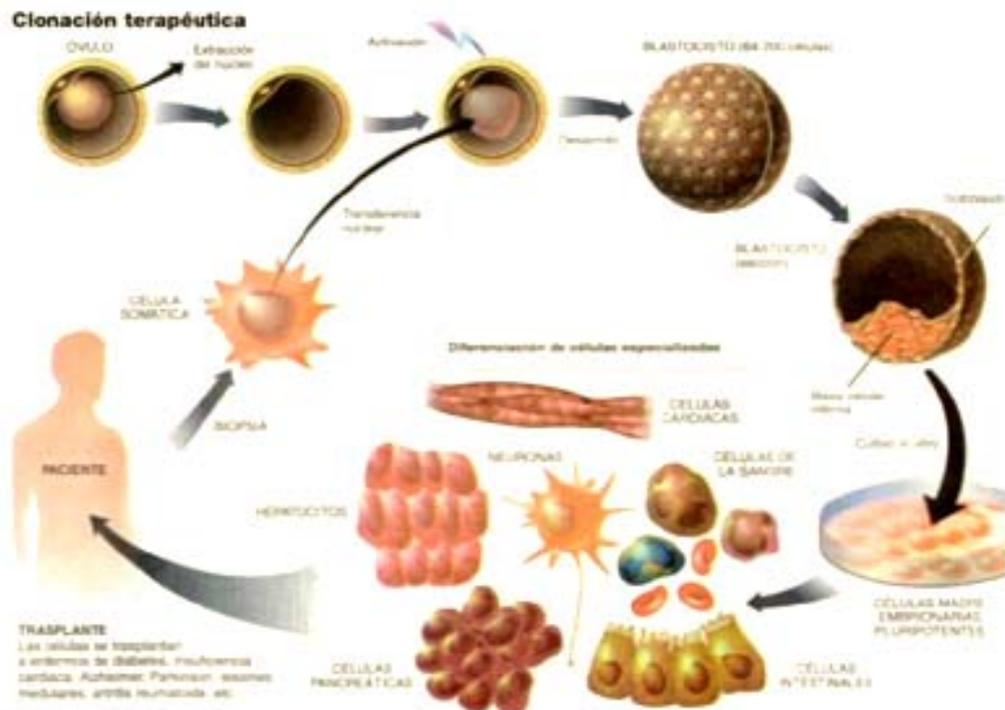


Fig. 2. Clonación terapéutica (El País)

mosomas dando como resultado un desarrollo anormal.

El equipo del Dr. Wilmut consiguió iniciar el desarrollo embrionario reduciendo la posibilidad de alteraciones cromosómicas. Así, el núcleo de células provenientes de cultivos deprimidos de suero se detuvo en G0 y se introdujo en un oocito receptor. De este modo se logró sincronizar el tiempo de replicación del ADN y del citoplasma receptor, evitando alteraciones cromosómicas.

Para que el núcleo se fusione con el citoplasma se le da un impulso eléctrico que a su vez activa la multiplicación celular. Las células donantes del núcleo debían estar en la fase G0 en el cultivo celular, donde se mantienen quiescentes. Es fácil conseguirlo mediante la disminución del 10% del suero habitual al 5% en el cultivo celular en el que se mantiene, las células no tendrán nutrientes y perderán su actividad.

-Clonación en ovejas: El equipo que ha realizado los experimentos con la oveja Dolly han logrado que se formase Dolly a partir del núcleo de una célula totalmente diferenciada de ubre de otra oveja adulta. De 277 núcleos de glándula mamaria insertados sólo 29 llegaron a mórula, y sólo Dolly nació con fenotipo (apariencia) del núcleo donante (oveja de cabeza blanca) frente al huevo del receptor que era de cabeza de color negro.

-Clonación de peces: el estudio se ha realizado en un pequeño pez llamado Medaka, *Oryzias latipes*, cuyos oocitos son transparentes, lo que es una ventaja para manipularlos. En el experimento, un pez de color oscuro de la variedad salvaje se utilizó como donante de núcleos. Se individualizaron las células de la blástula con micropipetas inyectando iones de calcio y magnesio en una

disolución reguladora. Las células se mantuvieron a 4° C y se tiñeron de rojo para su mejor identificación. La pigmentación oscura es el alelo dominante B/B. La variedad naranja es una mutación con alelo recesivo b/b. Sus oocitos no fecundados sirvieron de recipiente. Se mantuvieron a 18° C en contenedores de plástico de 35 mm en disolución de penicilina principalmente. De los 845 trasplantes 27 peces fueron oscuros y 2 naranjas con la técnica intercambiada.

-Clonación en conejos: Los conejos tienen muchas ventajas como animal experimental. Su estado de gestación dura únicamente 1 mes, permitiendo una evaluación rápida del desarrollo fetal y postnatal. Los conejos presentan folículos pre-ovulares en sus ovarios y la ovulación se puede estimular hormonalmente. Los embriones se recubren con una gruesa capa de glucoproteínas. Sin embargo, la zona pellucida y la membrana del oocito son fácilmente atravesadas. Los oocitos se activan con esperma que aumenta la cantidad de calcio intracelular, o con descargas eléctricas. El oocito prosigue hasta la interfase y no se detiene en metafase II gracias al descenso del factor promotor de la mitosis (FMP) por no producirse ciclina B. El FMP es un complejo proteico promotor de la fase M del ciclo celular y contiene una ciclina y una proteína quinasa. Las ciclinas son un grupo de proteínas que actúan regulando distintos momentos del ciclo celular. Se encuentran formando parte del dímero de quinasas dependientes de ciclinas (Cdk) constituido por una subunidad quinasa y otra ciclina.

Tras implantar el nuevo núcleo y desarrollarse el cigoto a embrión, éste se introduce en el oviducto de la hembra. Esto ha sido

desarrollado quirúrgicamente y sin cirugía.

-Clonación en ratones: Empleando la técnica de transferencia de núcleos. Todas las células somáticas pueden soportar que su núcleo sea transferido a un blastocisto y se desarrolle. Aun así, lo núcleos de los fibroblastos son los que mayor éxito han producido en lo que a descendencia se refiere. Los oocitos son activados mediante ión estroncio, esperma o descargas eléctricas. Los nuevos ratones presentan pocas diferencias con ratones no clonados. En ejemplares clónicos el peso corporal suele ser más elevado debido a que durante su desarrollo la placenta es mayor. Sin embargo su descendencia no heredará el aumento de tamaño.

APLICACIONES DE LA CLONACIÓN ANIMAL

Antes de nada debemos considerar que la clonación no siempre implica formación de embriones y uso de sus células madre. La clonación más sencilla es la clonación de células. A partir de una célula madre epidérmica se puede conseguir un gran clon de células epidérmicas genéticamente iguales y usarlas para reparar la piel de un paciente que sufre quemaduras graves. La técnica del trasplante nuclear, sin embargo, implica la formación de embriones que, por un lado pueden usarse para producir un nuevo individuo (clonación reproductiva) o bien, como fuente de células madre embrionarias (clonación no reproductiva o terapéutica).

Clonación de mamíferos

Clonación de mamíferos a partir de células adultas; ejemplo la oveja Dolly. Una ventaja importante es que se conoce de antemano las características del nuevo animal. Los

ganaderos podrían beneficiarse consiguiendo clones de los animales que son más productivos y resistentes a enfermedades que otros. Por otro lado, se está estudiando la posibilidad de clonar animales en extinción, o incluso hacer reaparecer especies ya extinguidas.

Clonación y terapia génica

Se está estudiando el uso de la clonación para "corregir" fallos genéticos de un embrión. Del mismo modo se podrían curar enfermedades genéticas en individuos adultos, por ejemplo, el uso de virus modificados genéticamente como vectores que transporten genes específicos al interior de las células madre de las neuronas, para el tratamiento de enfermedades neurológicas (Parkinson, Alzheimer). Son aplicaciones por ahora poco factibles, pero que en un futuro podrían convertirse en una revolución médica.

También se pueden introducir genes en células madre embrionarias que expresen proteínas terapéuticas y luego crear animales que sinteticen esa proteína, por ejemplo en la leche.

También debemos nombrar el uso de la clonación para crear nuevos órganos, que se usarían en trasplantes, evitando rechazos y largas listas de espera.

Sin embargo, existen muchos problemas que frenan el progreso de la clonación. Problemas relacionados con la técnica, como son el bajo porcentaje de éxitos (tengamos en cuenta que Dolly se consiguió tras 277 intentos) y el alto número de óvulos requerido en la clonación de animales, así como los graves problemas de salud que presentan. También debemos tener en cuenta, que

la manipulación genética, ya sea de animales adultos, embriones o bacterias (e incluso de plantas) puede conllevar cambios en otros genes. La clonación y la manipulación de los genes no son técnicas exactas, por lo que no siempre se obtienen los resultados esperados. Además de todo esto están los inconvenientes éticos respecto a la clonación humana.

La clonación es una técnica con expectativas, sobre todo en medicina, pero todavía debe superar varias dificultades para ser utilizada convencionalmente.

BIBLIOGRAFÍA

BROKER ROBERT, J. 2005. *Genetics, analisis & principles*. 2nd Edition, Mc Graw Hill Higher Education.

IZQUIERDO ROJO, M. 2001. *Ingeniería genética y transferencia genética*. Ediciones Pirámide.

LANZA, C.J., CAMPBELL, R., KEITH., H. S,

WEST, M. 2002. *Principles of Cloning*. Academic Press.

WERNING, M., MEISSNER, A., FOREMAN, R., BRANKBRINK, T., KU, M., HOCHEDLINGER, K., BERNTEIN, B.E., JAENISCH, R. 2007. *In vitro reprogramming of fibroblasts into a pluripotent ES-cell-like state*. Nature, 448:318-324.

BIOTECNOLOGÍA PARA LA SALUD PÚBLICA. 2006. http://biotec.amgen.es/cgi-bin/wdbcgi.exe_/amgen/pak_biotec.muestradoc?p_item=17

PÁGINA WEB CULTURAL Y SOCIAL DE HOSPITAL

http://www.canal-h.net/webs/sgonzalez002_/Manipulacion/CLONACION.htm

PÁGINA WEB SOBRE SALUD PÚBLICA ESPAÑOLA. http://geosalud.com/Clonacion/clonacion_aspectos_cient%EDficos.htm

debe superar varias dificultades para ser utilizada convencionalmente.

EL MICROSCOPIO DESDE LEEUWENHOEK HASTA LA ACTUALIDAD

B. Fernández García & I. Ayala Cristancho

beit_a@hotmail.com; ivethayala22@hotmail.com

Alumnas 1º Bioloxía, Materia: Citoloxía e Histoloxía Animal e Vexetal (2005-2006),
Universidade de Vigo. Profesores: Manuel Megías, Pilar Molist e Manuel Ángel Pombal.

Resumen: El mundo microscópico permaneció oculto al ser humano hasta la invención del instrumento óptico conocido como microscopio, micro (pequeño), scopio (ver). Fue Zacharias Janssen el primero en elaborar un microscopio, sin embargo se considera a Leeuwenhoek como padre de la microscopía. Desde su origen, el microscopio conserva sus características generales, aunque pequeñas modificaciones fueron mejorando poco a poco sus prestaciones.

Resumo: O mundo microscópico permaneceu oculto ó ser humano ata a invención do instrumento óptico coñecido como microscopio, micro (pequeno), scopio (ver). Foi Zacharias Janssen o primeiro en elaborar un microscopio, sen embargo, considérase a Leeuwenhoek como pai da microscopía. Dende a súa orixe, o microscopio conserva as súas características xerais, aínda que pequenas modificacións foron mellorando pouco a pouco as súas prestacións.

INTRODUCCIÓN

Es la curiosidad innata al hombre la que ha hecho que se esforzase por observar todo lo que está a su alrededor. Esto es lo que lleva a inventar el telescopio, con el fin de acercar y mostrar con detalle todo aquello muy lejano que el ser humano no puede ver a simple vista. Y de la misma manera se inventa el microscopio, revelando mundos diminutos desconocidos para la humanidad.

HISTORIA

No se conoce con exactitud quién fue el inventor y primer constructor del microscopio. Algunos autores atribuyen su invención a los hermanos holandeses Hans y Zacarias Jansen, a finales del siglo XVI, otros consideran que fue Galileo (1564-1642), buen conocedor de las propiedades amplificadoras de las lentes pulidas para la observación astronómica.

Sin embargo, uno de los más famosos personajes en el campo de la microscopía fue Anthony Van Leeuwenhoek (1632-1723). Leeuwenhoek era un comerciante de telas holandés que dedicaba sus ratos libres a su gran pasión: tallar y pulir lentes (Fig. 1).



Fig. 1. Anthony Van Leeuwenhoek

En un principio, su intención era mejorar las lupas que había por entonces y así com-

probar la calidad de las telas que vendía. Hasta ese momento, a nadie se le había ocurrido examinar otros objetos con tales lentes ya que creían que no valía la pena. Sin embargo, Leeuwenhoek, con su curiosidad insaciable comenzó a examinar saliva, sangre, agua estancada, cerveza, para lo cual iba perfeccionando cada vez más las lentes que fabricaba. Realmente llegó a obsesionarse tratando de crear las lentes perfectas. Ideó un microscopio que se conoce como Microscopio simple, ya que está formado por una sola lente biconvexa y de gran curvatura. Debido a la gran curvatura, éste era muy poderoso y permitía observaciones de más de 300 aumentos. Para obtener ampliaciones más grandes, Leeuwenhoek hizo lentes cada vez más pequeñas (llegando a fabricarlas con diámetros de 1 a 2 mm).

Estas lentes son difíciles de sujetar y enfocar y por ello Leeuwenhoek las colocaba entre dos placas de bronce. Lo que quería observar lo situaba en la punta de un tornillo, de manera que podía regular de forma precisa la distancia entre el objeto y la lente (Fig. 2). El observador tenía que acercar el ojo al instrumento y mirar a través de la lente.

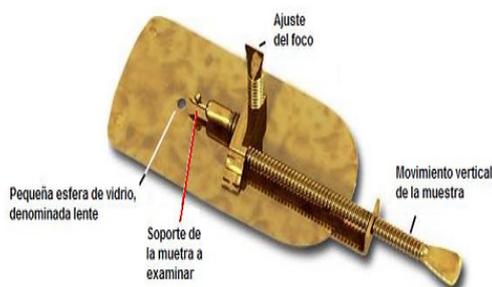


Fig. 2. Microscopio simple de Leeuwenhoek

Observó bacterias y protozoos, a los que él mismo denominó "animáculos" (Fig. 3) creando una gran confusión. En aquella época la teoría de la generación espontánea afirmaba que algunos animales, como las moscas o el gorgojo, se generaban a partir de la materia putrefacta, la tierra, e incluso el trigo.

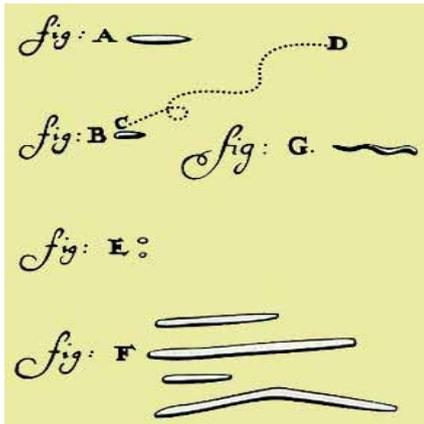


Fig. 3. "Animáculos de Leeuwenhoek". Los primeros dibujos de bacterias fueron publicados en 1684 por él mismo, utilizando para sus observaciones un rudimentario microscopio de fabricación propia.

Examinó por vez primera los glóbulos rojos de la sangre y las fibras musculares. Y, sin duda, su gran hallazgo fue descubrir que el semen está formado por espermatozoides, tras examinar el eyaculado de un enfermo de sífilis.

En 1665 se produce un salto cualitativo ya que Giuseppe Campana construye un microscopio de 9 cm donde el avance sustancial lo aporta un mecanismo de tornillo que facilita el desplazamiento, lo cual mejora notablemente la calidad del enfoque; además, poseía una base circular de madera con un orificio central que permitía observar por transparencia.

Coetáneo a Leeuwenhoek fue un físico

inglés, Robert Hooke, quien ideó un Microscopio compuesto (Fig. 4) con el que logró observar celdillas de corcho a las que denominó "células", instaurando por primera vez el uso de esta palabra. Su microscopio estaba formado por dos lentes, el objetivo y el ocular. Sin embargo, tenía grandes defectos ópticos que lo hacían menos efectivo que el simple.



Fig.4. Microscopio compuesto de Hooke

Durante el siglo XVI y XVII la microscopía contribuyó a la aparición de numerosos avances científicos que perdieron fuerza durante el siglo XVIII cuando se sufrió un período de oscurantismo científico acrecentado por las limitaciones técnicas y las falsas interpretaciones de las imágenes obtenidas.

Las mejoras más importantes de la óptica surgieron cuando Abbe (inventor de los prismáticos) publica su teoría del microscopio. Mejora la microscopía de inmersión en el año 1877, obteniendo hasta 2000 aumentos. Dicha teoría revoluciona la microscopía, que hasta entonces se basaba en métodos empíricos. Cabe destacar que Abbe y Carl Zeiss trabajaban juntos en la universidad de Jena, y ambos crearon la empresa más

grande del mundo dedicada a la fabricación de instrumentos ópticos.

Los microscopios ópticos alcanzaron su límite de aumentos teóricos en 1930. A partir de entonces ha sido un instrumento cada vez más perfecto y agudo, y un invento indiscutidamente importante. Pero sería en el siglo XX cuando la mecánica cuántica establece que los electrones tienen también características ondulatorias como la luz, lo que supone un sustancial avance: el microscopio electrónico, que sustituyó la luz por electrones y las lentes ópticas por campos magnéticos. El microscopio electrónico de transmisión fue el primer tipo de microscopio electrónico desarrollado. Este utiliza un haz de electrones en lugar de luz para enfocar la muestra consiguiendo hasta 100.000 aumentos. Fue desarrollada por Max Knoll y Ernest Ruska en Alemania en 1931. La resolución de un microscopio electrónico es mucho mayor que la de su pariente óptico, pero no fue la última palabra en materia de microscopía.

Posteriormente, en 1942 se desarrolló el microscopio electrónico de barrido. En 1950 se inventó el microscopio de ionización de campo, que ya daba una resolución atómica de muestras en forma de punta y que preparó el camino para el microscopio de efecto túnel, también hijo de las novedades cuánticas, y recientemente incorporado a los arsenales de la tecnología. El primer prototipo de microscopio de efecto túnel fue construido por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, de los laboratorios IBM en Zurich, y fue en 1981 cuando pudieron resolverse todos los problemas inherentes a su funcionamiento. Se logró atrapar a los electrones que escapan en ese efecto túnel para conseguir una ima-

gen ultradetallada de la estructura atómica de la materia con una espectacular resolución. Cada átomo se puede distinguir de otro y esto ha sido esencial para el avance de la microelectrónica moderna.

Muchos de los avances en química, biología y medicina no se hubieran logrado si antes no se hubiera inventado el microscopio. Ha sido y es importante para el avance de la ciencia ya que mediante él se pueden estudiar y observar objetos u organismos que no percibimos a simple vista.

TIPOS DE MICROSCOPIOS

Microscopio óptico compuesto

Se ha usado desde mediados del S. XVI, y fue de importancia crucial para la evolución de la ciencia, siendo todavía, el principal apoyo de la anatomía microscópica. El microscopio óptico común está formado por tres sistemas (Fig. 5): Sistema mecánico que está constituido por una serie de piezas en las que van instaladas las lentes que permiten el movimiento para el enfoque.

Esta parte comprende el pie, que constituye la base sobre la que se apoya el microscopio; el brazo o asa, es la columna perpendicular al pie que puede estar arqueada o vertical y une el pie con el tubo; el tubo tiene forma cilíndrica y está oscurecido internamente para evitar los reflejos de la luz. Está unido al brazo mediante una cremallera y en el se colocan los oculares y los objetivos; el revólver es una pieza giratoria provista de orificios en los cuales se enroscan los objetivos y al girar permite colocar los objetivos en posición de trabajo; la platina es una pieza metálica plana sobre la que se coloca la preparación u objeto a observar; ésta pre-

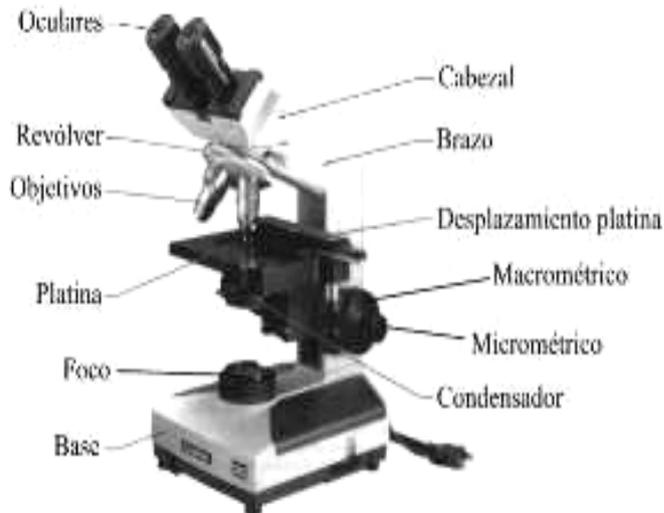


Fig. 5. Partes del microscopio

senta un orificio central que permite el paso de los rayos procedentes de la fuente de iluminación situada por debajo y consta de dos pinzas que sirven para retener el portaobjetos, y de un sistema de cremallera guiado por dos tornillos de desplazamiento que permiten mover la preparación de delante hacia atrás, o de izquierda a derecha y viceversa. El tornillo macrométrico y el micrométrico son elementos que sostienen la parte óptica y de iluminación permitiendo los desplazamientos necesarios para el enfoque del objeto de manera que el tornillo macrométrico al girarlo asciende o desciende el tubo del microscopio permitiendo el enfoque rápido de la preparación, mientras que el tornillo micrométrico su movimiento es casi imperceptible y produce el deslizamiento del tubo o la platina hacia arriba o hacia abajo lográndose el enfoque exacto y nítido de la preparación. El Sistema óptico es el encargado de reproducir y aumentar las imágenes y está formado por los oculares y los objetivos. Los oculares se colocan en la parte superior del tubo y normalmente son dos (microscopios binoculares), cada uno consta

de dos lentes convergentes que captan y aumentan la imagen de los objetivos, los más utilizados son los de 8, 10, 12.5 y 15 aumentos; los objetivos están colocados en la parte inferior del tubo insertados en el revólver que permite cambiarlos fácilmente, producen una imagen real, invertida y aumentada de los objetos. Los más utilizados son los de 4, 10, 40 y 100 aumentos. En la cara externa de cada objetivo se indican sus características principales como el aumento que producen, la apertura numérica, además llevan un anillo

coloreado en su extremo inferior que indica el número de aumentos (rojo-4X, amarillo-10X, azul-40X y negro-100X). El Sistema de iluminación dirige la luz natural o artificial de tal manera que ilumine la preparación que se va a observar. Antes solía estar formado por un espejo móvil con dos caras, una cóncava y otra plana. La cara cóncava se empleaba preferentemente con iluminación artificial y la plana con iluminación natural (solar); sin embargo, hoy en día ya traen incorporada una lámpara. La fuente de iluminación es una lámpara halógena de intensidad graduable situada en el pie del microscopio. En su superficie externa puede haber una especie de anillo para colocar filtros que faciliten la visualización; el condensador está formado por un sistema de lentes cuya función es concentrar la luz sobre la preparación; el diafragma está ubicado en el interior del condensador y permite regular la cantidad de luz y la apertura numérica.

Microscopio de luz ultravioleta

Algunas sustancias denominadas fluorocromos tienen la propiedad de ser excitadas

cuando absorben luz ultravioleta (luz de longitud de onda corta que aumenta el poder de resolución del microscopio). A medida que las moléculas excitadas regresan a su estado normal liberan el exceso de energía en forma de luz visible de mayor longitud de onda que la radiación excitante, y a esta propiedad se denomina fluorescencia.

La fuente luminosa de este tipo de microscopio emite radiaciones ultravioleta que atraviesan unos filtros especiales que seleccionan la longitud de onda de los rayos luminosos que alcanzan la muestra y también de los rayos emitidos por la propia muestra. La imagen se muestra con fluorescencia en placas fotográficas o con cualquier otra técnica de foto emisión. Es usado para la investigación científica (detección de ácidos nucleicos, proteínas, o en inmunofluorescencia).

Microscopio petrográfico o de polarización

Estos microscopios están especialmente adaptados para el estudio de los componentes minerales de las rocas ígneas y las rocas metamórficas. Cuenta con un prisma de Nicol u otro dispositivo para polarizar la luz que pasa a través del objeto a examinar. Otro prisma Nicol o analizador determina la polarización de la luz que ha pasado a través del objeto. El microscopio tiene un soporte giratorio que indica el cambio de polarización.

Microscopio de campo oscuro

Es un microscopio óptico ordinario cuyo condensador ha sido modificado para dirigir la luz a la preparación desde los lados, de tal modo que sólo la luz difractada por la

preparación pasa al ocular y se hace visible. A causa de esta disposición, la muestra aparece iluminada sobre un fondo oscuro. La microscopía de campo oscuro hace posible la observación en estado vivo de las partículas y células que de otra manera estarían por debajo de los límites de resolución del microscopio óptico, aunque resulten visibles pocos detalles estructurales. Ha sido ampliamente utilizado en el estudio de pequeñas células móviles tales como *Treponema pallidum*, la espiroqueta causante de la sífilis, que es invisible con la microscopía óptica ordinaria.

Microscopio de contraste de fase

Este microscopio revela ligeras variaciones del índice de refracción de las sustancias observadas. Es un aparato óptico debido a Zernike que permite observar variaciones mínimas de la fase de vibración de los rayos que cruzan la preparación. Se coloca un diafragma anular en el condensador y detrás del objetivo una lámina desfasante. Las variaciones de fase se traducen en variaciones de luminosidad en la imagen.

Microscopio electrónico

A principios del S. XX se inventa el microscopio electrónico. Este modelo de microscopio utiliza electrones para iluminar la muestra a estudiar. Dado que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la luz pueden mostrar estructuras más pequeñas.

Todos los microscopios electrónicos cuentan con varios elementos básicos: un cañón que emite los electrones que chocan contra el espécimen, lentes magnéticas que crean campos que dirigen y enfocan el haz de

electrones, sistema de vacío (los electrones pueden ser desviados por las moléculas de aire) y un sistema que registra la imagen que producen los electrones. Los electrones se concentran sobre el objeto y después son refractados por unos condensadores que hacen de lentes. Coinciden sobre una pantalla fluorescente en la que se dibuja la imagen del objeto.

Microscopio electrónico de transmisión

Permite la observación de la muestra en cortes ultrafinos. Dirige el haz de electrones hacia el objeto a examinar y una parte de éstos rebotan o son absorbidos por el objeto y otros atraviesan formando una imagen aumentada (Fig. 6). Pueden aumentar un objeto hasta un millón de veces. El primer microscopio electrónico de transmisión comercial lo construyó Siemens en 1939.

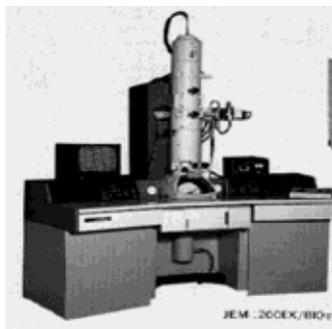


Fig. 6. Microscopio electrónico

Microscopio electrónico de barrido

Crea una imagen ampliada de la superficie del objeto. Explora la superficie de la muestra punto a punto, al contrario que el anterior. Su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones. Los electrones pueden disper-

sarse en la propia muestra o provocar la aparición de electrones secundarios. Los electrones perdidos y los secundarios son recogidos y contados por un dispositivo electrónico situado en los laterales. Cada punto leído en la muestra corresponde a un píxel en la pantalla del ordenador. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se genera la imagen en el monitor. Pueden ampliar objetos hasta 200.000 veces. Al contrario que los de transmisión o los ópticos, producen imágenes realistas tridimensionales del objeto observado.

Microscopio de efecto túnel

El efecto túnel es un efecto mecanocuántico que consiste en que una partícula atraviese una barrera de potencial sin tener energía suficiente para rebasarla.

Podríamos definirlo como una máquina capaz de revelar la estructura atómica de los objetos. Las técnicas aplicadas se conocen también como "de barrido de túnel" y están asociadas a la mecánica cuántica. Se basan en la capacidad de atrapar los electrones que escapan en ese efecto túnel, para lograr una imagen de la estructura atómica de la materia con alta resolución, en la que cada átomo se puede distinguir de otro.

Una vez realizado el proceso en el microscopio, escaneando la superficie del objeto y haciendo un mapa de la distancia entre varios puntos, se genera una imagen en tres dimensiones. Los microscopios de efecto túnel también han sido utilizados para producir cambios en la composición molecular de las sustancias. Es fundamental en el campo de la nanotecnología y la nanociencia. Fue inventado por Binnig y Rohrer en 1981, quienes fueron galardonados con el

Premio Nóbel en 1986 por su descubrimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERTS, B., BRAY, D., HOPKIN, K., JOHNSON, A., LEWIS, J., RAFF, M., ROBERTS, K., & WALTER, P. 2004. *Biología Molecular de la Célula*. 2^{da}. Edición. Editorial Panamericana.

BECKER, W.M., KLEINSMITH, L., & HARDIN, J. 2006. *The world of the cell*. 6^a Edición. Ed. Pearson. Benjamin cummings.

MADIGAN, M.T., MARTINKO, J., & PARKER, J. 2003. *Brock Biología de los*

microorganismos. 10^a Edición. Ed. Prentice Hall.

LODISH, H., & MATSUDAIRA, P. 2002. *Biología celular y molecular*. 4^a Edición. Ed. Médica Panamericana.

WIKIPEDIA, LA ENCICLOPEDIA LIBRE. <http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio>

Departamento de ciencias biológicas. Facultad de ciencias exactas-UNLP. 2006. <http://www.biol.unlp.edu.ar/historiamicroscopia.htm>

MONOGRAFIAS.COM: Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos educativos. 2000. <http://www.monografias.com/trabajos7/>

FILOGENIA DE HONGOS

Olga M^a Felip Arias

geix@hotmail.com

Alumna 4º Biología, Materia: Biodiversidad de Plantas non Vasculares,
Universidade de Vigo. Profesora: Marisa Castro

Resumen: En base a trabajos de Cavalier-Smith (1983, 1988, 1989, 1998, 2001) se traza un recorrido por la evolución filogenética de los hongos, basada tanto en resultados obtenidos a partir de la selección del principio de máxima probabilidad como de metodologías moleculares.

Palabras clave: Filogenia hongos, evolución fúngica.

Resumo: En base a traballos de Cavalier-Smith (1983, 1988, 1989, 1998, 2001) trázase un percorrido pola evolución filoxenética dos fungos, baseada tanto en resultados procedentes da selección do principio de máxima probabilidade como das metodoloxías moleculares.

Palabras clave: Filoxenia fungos, evolución fúnxica.

INTRODUCCIÓN

Según Cavalier-Smith (2001) en la historia de la Tierra se observa una evolución progresiva de las plantas y los hongos a partir de procariotas unicelulares hacia eucariotas complejos y pluricelulares. El patrón general indica que la evolución de los eucariotas coincidió con un aumento del oxígeno en la hidrosfera y en la atmósfera, acompañado por el desarrollo de los ciclos sexuales y nuevos procesos como la mitosis y la alternancia de generaciones. Procesos que establecieron las bases para la evolución subsiguiente hacia plantas pluricelulares complejas a partir de varios grupos de algas. Los pasos evolutivos finales fueron el desplazamiento hacia el medio terrestre y el desarrollo de hongos, briófitos y plantas vasculares como líneas principales.

Para hacer consideraciones filogenéticas y delimitar los grandes grupos de organismos deben usarse principalmente datos moleculares basados en la comparación de secuencias de rRNA, ya que los ribosomas están presentes en todos los tipos celulares.

Los «relojes moleculares» pueden producir cuadros filogenéticos muy dispares; todavía se tienen que afinar las técnicas de calibración para ofrecer un cuadro coherente con la evidencia paleontológica (es importante encontrar alguna propiedad interna en las propias secuencias que indique la edad evolutiva).

Por otra parte, la micología es todavía una ciencia en proceso de desarrollo. Se estiman más de un millón de especies de hongos de las cuales solo hay descritas unas 100.000 especies (Hawksworth, 1995) y los fósiles fúngicos son raros y casi siempre microscópicos, muy raras veces se han en-

contrado fructificaciones completas. Los restos de micelios son abundantes en muchos sedimentos desde el Devónico, pero es casi imposible adscribirlos a grupos concretos por la falta de rasgos de diagnóstico. Es decir, la micología tiene problemas relacionados con el origen, la diversificación y la especiación de hongos; pero ha experimentado un progreso considerable durante la última década gracias a los avances tanto en la paleobotánica como en las nuevas técnicas moleculares de análisis filogenético (Esser & Lemke, 2001, en Carrión, 2003).

METODOLOGÍA

Prácticamente todo lo que se conoce sobre filogenia de Oomicetos y Eumicetos son hipótesis, ya que hasta hace aproximadamente diez años no se disponía de técnicas experimentales para el desarrollo de árboles filogenéticos coherentes, por este motivo la selección bibliográfica resulta difícil ya que se encuentra bastante dispersa. Y, como las hipótesis publicadas se encuentran en constante cambio, para la realización de este trabajo nos hemos basado esencialmente en el estudio recopilatorio realizado por Scagel y col., (1991) y por Carrión (2003).

DESARROLLO Y RESULTADOS

En base a esto podemos hablar de tres grandes líneas evolutivas (Fig. 1): Hongos ameboides o mucilaginosos (Mixomicetos, Acrasiomicetos, Plasmodiophoromycota), fagotróficos, Pseudohongos (Oomicetos, Hifoquitridiomicetos y Labyrinthulomycota) y Eumicetos (Quitridiomicetos, Zigomicetos, Ascomicetos y Basidiomicetos), lisotróficos. Estas dos últimas líneas convergen en su organización miceliar, pero presentan nota-

bles diferencias metabólicas, ultraestructurales y bioquímicas; las hifas no se pueden considerar homólogas, sino más bien convergentes (Howard & Gow, 2001 en Carrión, 2003). Y, aunque parece que el éxito fúngico se debe, en buena medida, a las propiedades de éstas, hay grupos actuales con otras morfologías que han sobrevivido. Se puede afirmar que las hifas, los talos quitridiales y las células de tipo levadura evolucionaron de forma convergente en Eumicetos y Pseudohongos (Cavalier-Smith, 2001); es decir, los «micelios» evolucionaron de forma independiente, posiblemente como una adaptación para optimizar la digestión extracelular y para la explotación de medios semisólidos con materia orgánica.

Berbee & Taylor (1993, en Carrión, 2003), declaran que la principal diversificación de Oomicetos ocurrió hace menos de 50 millones de años, mucho después del origen de las angiospermas. Esto contrasta con la divergencia entre Quitridiomicetos y los demás hongos, que ha sido datada en torno a 550 millones de años, es decir, los Oomicetos serían aproximadamente diez veces más recientes que el resto de los hongos, lo que podría deberse a una invasión de zonas adaptativas de hongos por medio de la competencia. Esta «dispersión» apoya la hipótesis de que no existe ninguna superioridad inherente en el nivel de organización fúngica respecto al de Pseudohongos.

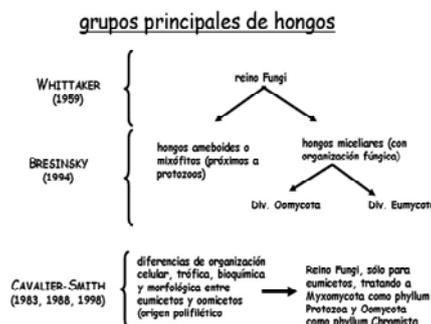


Fig 1. Grupos principales de hongos

Con todo esto es lógico pensar que los hongos, con digestión externa y pared de quitina, ocuparon antes que otros grupos el nicho de los heterótrofos, diversificándose rápidamente antes que el resto. De hecho, Cavalier-Smith & Chao (1996) elaboraron árboles filogenéticos con secuencias de rRNA que muestran que la divergencia entre algas heterocontas y Oomicetos tiene lugar al mismo tiempo que la de diatomeas y otros Ochrófitos.

Por otra parte, los estudios realizados por

Filogenia en hongos ameboides

Es un grupo heterogéneo que antiguamente se relacionó con Eumicetos; pero se encontraron divergencias profundas entre unos y otros en la estructura de las esporas y en la bioquímica, por ello fueron encuadrados, por CAVALIER-SMITH (2001), dentro de Protozoa y Chromistas, cuando anteriormente habían sido incluidos dentro de los protistas o de los protoctistas. Existen varios caracteres que indican una cierta relación con Protozoa, como la fagocitosis, los movimientos ameboides, etc. Las relaciones entre los hongos mucilaginosos no están claras, ya que se basan, al no existir registro fósil, en similitudes y diferencias entre formas existentes. En base a estos trabajos, LLIMONA (1997) acepta tres phylla, Acrasiomicota, Myxomycota y Plasmodiophoromycota; mientras que otros autores como HAWKSWORTH y col., (1995) y KIRK y col., (2001) consideraron un cuarto, Dictyosteliomycota.

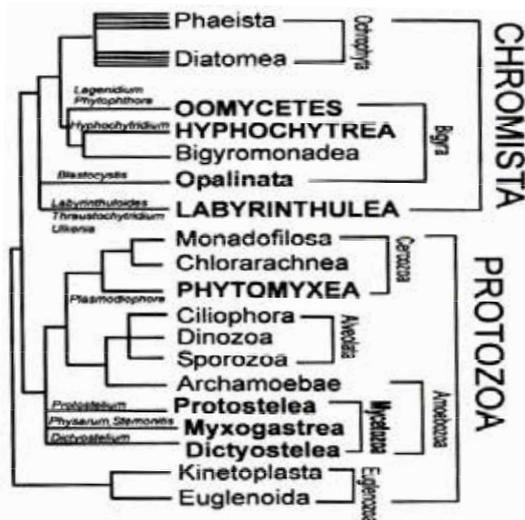


Fig. 2. Esquema simplificado de la filogenia de 120 eucariotas basada en el gen 18S rRNA para mostrar el origen polifilético de los organismos “fungoides”. Los hongos ameboides se incluyen en varios grupos dentro del reino Protozoa, mientras que los pseudohongos quedan repartidos dentro de Chromista. Según Cavalier-Smith (2001).

Los Plasmodiophoromycota, en 1985 (Alexopoulos & Mims) se habían encuadrado dentro de Eumycota; pero Baldauf & Doolittle (1997, en Carrión, 2003) al aceptar la parafilésis de Phytomyxea y Mycetozoa, en contra de ideas anteriores basadas en secuencias de proteínas; junto con las evidencias moleculares observadas (Braselton, 2001, en Carrión, 2003) consideran a *Plasmodiophora* y otros géneros próximos como Protozoa fisiológicamente especializados. Algo semejante ocurre con los Mixomicetos, colocados actualmente entre los micetozoos (Protozoa) por Cavalier-Smith (2001) y los Dictiosteliomicetos parecen estar relacionados con los mixomicetos, ya que se ha descubierto un grupo, los Protostélidos, que comparten caracteres de ambos (Fig. 2).

Filogenia de Pseudohongos

Debido al morfotipo filamentosos y al tipo de nutrición lisotrófica, los Pseudohongos han sido clasificados en tres phylla por Kirk y col. (2001), Oomycota, Hyphochytridiomycota y Labyrinthulomycota; otros autores como Llimona (1997) los incluyen en un solo phylum Oomycota, subdividido en tres clases.

Una de las diferencias básicas entre Pseudohongos y Eumicetos son los pelos rígidos sobre el flagelo anterior de Oomicetos y sobre el único flagelo de Hifocitridiomicetos, lo que condujo a la separación de éstos de los Quitridiomicetos (hongos verdaderos). Esto llevó a pensar a algunos autores, como Bessey (1942), que de los Oomicetos evolucionaron los Quitridiomicetos y los Hifocitridiomicetos, y que los Oomicetos procedían inicialmente de algún grupo de Crisófitos. Los estudios de secuencias del gen 18S rRNA de proteínas codificadas en el núcleo y de algunos genes del mtDNA (Cavalier-Smith, 1998), junto con estudios con microscopía electrónica acabaron mostrando grandes similitudes entre Oomicetos y algas Heterocontas. A partir de aquí, salieron nuevas clasificaciones y los Pseudohongos fueron incluidos entre los Chromistas, dentro del phylum algal Heterokontophyta (Cavalier-Smith, 1998). Todo esto hace pensar que los hongos son parafiléticos, y esto, junto con la idea de que hay cierta distancia filogenética con los Labirintulomicetos, confirma la polifilesis del grupo.

Algunas de estas hipótesis indican que Oomicetos e Hifocitridiomicetos tienen un

origen distinto al del resto de grupos de hongos y que los dos tipos de células uniflageladas (Hifoquitridiomycetos y Quitridiomycetos) pueden haber evolucionado a partir de dos grupos ancestrales diferentes.

Desde una perspectiva paleoecológica, resulta razonable asumir que los descomponedores saprofiticos y los parásitos similares a los Oomicetos acuáticos actuales, estarían presentes a final del Proterozoico (600 millones de años aproximadamente); pero esto entra en contradicción con las estimas obtenidas a partir de «relojes moleculares» por Berbee & Taylor, 1994, 2001, en Carrión, 2003).

Filogenia de Eumycetos

Se han encontrado fósiles bien preservados de Basidiomycetos y Ascomycetos; pero son de origen relativamente reciente y nos asesoran poco a la hora de explicar su evolución. De hecho, se defienden varias teorías evolutivas en los Eumycetos (Carrión, 2003):

1. Los Zigomicetos representan una división aislada de procedencia desconocida (aunque podría existir un parentesco lejano con los Quitridiomycetos). En base a similitudes morfológicas, los Hemiascomycetos primitivos surgieron de antecesores zigomicetáceos y serían ciertos Ascomycetos sencillos los que originaron los Basidiomycetos.

2. Otra hipótesis trata sobre la relación entre el origen de las royas (Basidiomycetos, Uredinales) a partir de las algas rojas. Esto, obliga a aceptar las teorías monofiléticas en que algas y hongos son el resultado de una evolución paralela a partir de sencillos

Protozoa. La relación con Florideofíceas se justifica en base a la ausencia de células móviles y en las similitudes en la fecundación y el desarrollo subsiguiente.

3. También se ha sugerido, basándose en similitudes bioquímicas, que los Eumycetos pueden haber descendido de antecesores quitridioides.

Actualmente se considera la monofilesis de este grupo (Sugiyama y col., 1996, en Carrión, 2003; Cavalier-Smith, 2001). Los Eumycetos comparten algunas características con animales, como las estructuras quitinosas, el almacenamiento de glucógeno y el código mitocondrial para el triptófano. Esta relación se confirma por la secuenciación del gen 18S rRNA y de algunas proteínas (Baldauf & Palmer, 1993; Wainright y col., 1993, en Carrión, 2003), aunque se considera que hongos y animales surgieron de manera independiente desde algún grupo de Protozoa, probablemente similares a Coanoflagelados actuales (Cavalier-Smith, 1989, 1998). Y, las discrepancias se justifican en base a la secuenciación de la RNA-polimerasa y al análisis de datos de la subunidad menor del DNA ribosómico (SSU rDNA) (Rodrigo y col., 1994; Sidow & Thomas, 1994, en Carrión, 2003).

En base a estos datos Cavalier-Smith (2001) modifica la compartimentación de su antiguo reino Fungi, estableciendo dos subreinos: Neomycota, que incluye a los phylla Basidiomycota y Ascomycota y Eomycota, a Archemycota, junto con Microsporidia (parásitos obligados, intracelulares, de animales). Este nuevo concepto comprende organismos heterotróficos con digestión externa e intenta adecuar la clasificación a su

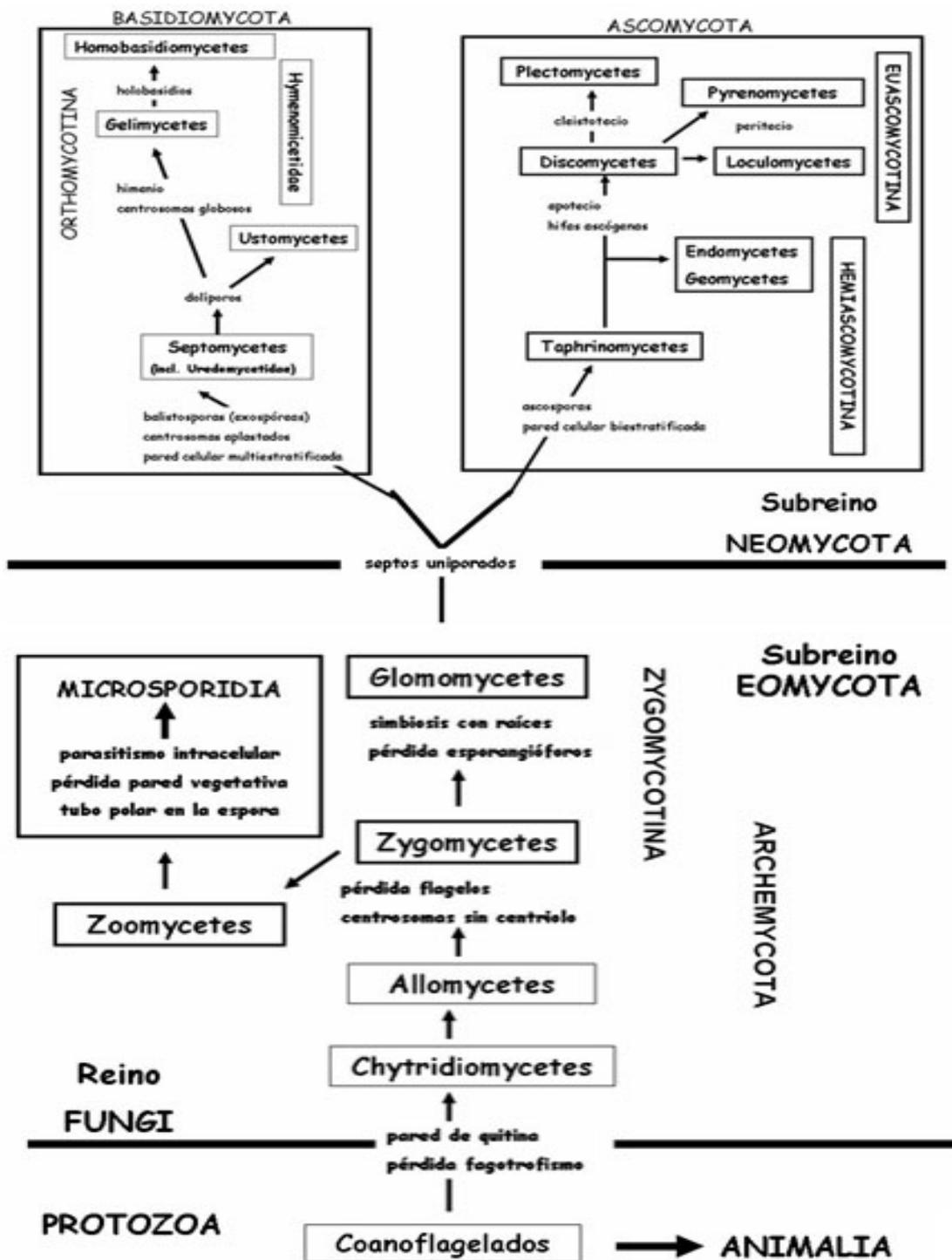


Fig. 3. Eventos clave en la diversificación de hongos verdaderos. Simplificado de Cavalier-Smith (2001).

El hecho de que otras clasificaciones recientes, también basadas en datos moleculares (Dick, 2001, en Carrión, 2003) muestren tan poca correlación con Cavalier-Smith (2001), sugiere que nos encontramos en una fase de transición que, en pocos años,

puede llevarnos a una taxonomía inusualmente diferente.

Con los avances en las técnicas de análisis, existen pocas dudas de la proximidad filogenética entre los Eumicetos y los Microsporidios, que en muchos ciclos presen-

tan alternancia de una fase uninuclear con otra dicariótica, aunque diferente en aspectos básicos de Neomycota, tanto como para afirmar que son dicariofases convergentes, no homólogos (Cavalier-Smith, 2001).

La posición filogenética de Microsporidios es incierta, ya que varía la interpretación según el tipo de dato molecular que discrimina el cladograma. Así, por un lado las secuencias de rRNA los sitúan en la base del árbol eucariótico (Vossbrink y col., 1987, en Carrión, 2003) y por otro, la comparación de secuencias proteicas (tubulinas y actina) produce un cuadro diametralmente opuesto (Cavalier-Smith, 1998, 2001). De alguna manera serían «hongos degenerados» que han perdido la pared vegetativa y algunos orgánulos básicos para la vida eucariótica autónoma (Edlind y col., 1996; Li y col., 1996; Hirt y col., 1999, en Carrión, 2003).

Por otra parte, los árboles de rRNA y las secuencias mitocondriales parecen confirmar la monofilia de Neomycota desde Glomomycetes (Cavalier-Smith, 2001) y rechazan la hipótesis previa de que Ascomycota y Basidiomycota evolucionaron independientemente desde Zygomycota. Y, confirman la estrecha relación filogenética entre ambos (Berbee & Taylor, 2001, en Carrión, 2003), sugerida tradicionalmente por la común aparición de hifas septadas y fase dicariótica. La transición entre Neomycota y Eomycota tendría lugar a través de hongos simbioses asociados con plantas vasculares.

Las filogenias moleculares indican que el ancestro más probable de los Eumicetos es un zooflagelado, en particular un Coanoflagelado o, en su defecto, un organismo muy similar (Cavalier-Smith, 1998) flagelado y unicelular para los cuales no hay registro

fósil, ni reproducción sexual conocida. Este mismo autor, en 2001, sugiere que este ancestro fúngico carecería de flagelo en la fase asimiladora adulta y poseería un ciclo vital con alternancia heteromórfica antes de adquirir la pared celular de quitina, característica de Quitridiomycetos. El registro fósil conocido indica que los Quitridiomycetos han cambiado poco durante 400 millones de años.

Existen dos teorías para explicar esta evolución, en función de que el Quitridiomyceto ancestral fuera saprótrofo o parásito (Fig. 4). En los saprotróficos los tentáculos del Coanoflagelado pueden servir como material evolutivo de partida para los haustorios de quitridiáceos, ya que los rizoides tienen un diámetro similar al de los tentáculos (Cavalier-Smith, 1998). Y, en los parásitos, varía en función de que presenten o no haustorios. En los primeros el origen sería similar al anterior; pero además necesitarían algún mecanismo enzimático para la penetración en la célula hospedante. Y, en los segundos, el organismo ancestral podría posarse sobre las células del hospedante como células desnudas, retraer su flagelo y penetrar en ellas después de secretar una pared continua a su alrededor.

Cavalier-Smith (2001), ha establecido una separación conspicua entre las clases Zygomycetes, Zoomycetes y Glomomycetes (estos últimos constituyen el 80% de las endomicorrizas arbusculares). Y, se sabe que la interacción micorrízica fue coetánea de la conquista de la tierra por las plantas (Taylor & Taylor, 1997, en Carrión, 2003), lo que parece indicar que la evolución inicial de las principales clases de Fungi pudo ser extraordinariamente rápida.

Los análisis de secuencias moleculares postulan la monofilesis de Ascomycota, Hemiascomycotina y Euascomycotina (Gargas y col., 1995, en Carrión, 2003). En las clasificaciones a nivel de clase y subdivisión, no existe acuerdo unánime ni a nivel taxonómico, ni a nivel filogenético.

Y, en Basidiomicetos la presencia común de balistósporas, basidios y fíbulas en casi todos los grupos, indica un origen común y apoya la hipótesis de la monofilesis; aunque luego hay bastantes evidencias de que existen tres líneas monofiléticas dentro de ellos, en base al estudio del rRNA y a los datos ultraestructurales, (Wells ,1994; Swann & Taylor, 1993, 1995; McLaughlin y col., 2001, en Carrión, 2003): Uredomicetos, Ustilaginomicetos e Himenomicetos. En base a la ultraestructura del poro septal, la composición de carbohidratos y las secuencias de los diferentes tipos de RNA, los Ustilaginomicetos y los Himenomicetos están más próximos filogenéticamente (Bauer y col., 1997, en Carrión, 2003).

resulta sencillo encontrar mecanismos evolutivos que conduzcan desde unos a otros. Se trata de dos líneas aparentemente muy especializadas que han evolucionado en paralelo. En cambio, una sola mutación que retrase la cariogamia respecto a la plasmogamia, puede producir la aparición del micelio dicariótico (Limona, 1997). Este proceso debe estar en la base del origen de ambos grupos desde Zigomicetos.

CONCLUSIÓN

Los datos moleculares resultan esenciales en todos aquellos casos en los que los caracteres morfológicos son convergentes o en casos de reducción o pérdida de rasgos (Taylor, 1995, en Carrión, 2003); pero hay que trabajar con mucha precaución estos datos. Ya que, en cuanto a los métodos moleculares de análisis, existe un problema inherente al hecho de que el rRNA haya sido prácticamente la única molécula utilizada sistemáticamente para la comparación de grandes grupos de hongos. Esta molécula tiene una tasa de evolución altamente variable, y así, ni el proceso de secuenciación ni el de comparación están libres de distorsiones o subjetividades, lo que ocasiona numerosos "puntos calientes" en el cladograma fúngico.

En este trabajo, hemos seguido los estudios de Cavalier-Smith (1983, 1988, 1998) ya que éste autor sugiere la selección del principio de máxima probabilidad antes que un seguimiento acrítico de la parsimonia, que para explicar la evolución de hongos nos ha parecido más correcto.

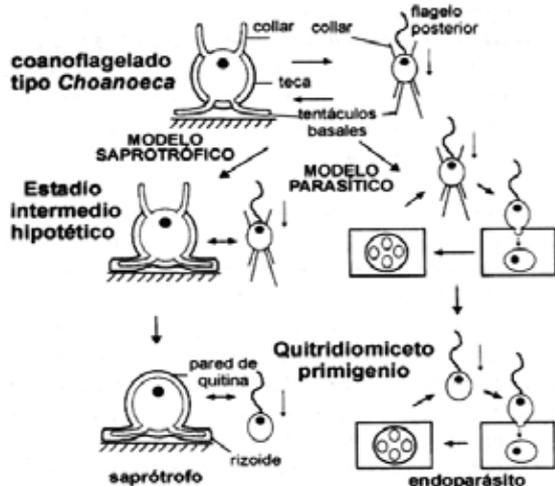


Fig. 4. Origen de los hongos verdaderos desde coanoflagelados, según Cavalier-Smith (2001). izquierda: teoría saprotrofica; derecha: teoría parasítica.

Las diferencias entre Ascomicetos y Basidiomicetos son considerables, tanto que no

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXOPOULOS, C.J. & MIMS, C.W. 1985. *Introducción a la micología*. Ed. Omega. Barcelona.
- BRESINSKY, A. 1994. Plantas inferiores. En: STRASBURGER, E. y col. (eds.) *Tratado de Botánica*: pp. 554-757. Omega. Barcelona.
- CARRIÓN, J.S. 2003. *Evolución Vegetal*. DM. Murcia.
- CAVALIER-SMITH, T. & CHAO, E.E. 1996. 18S rRNA sequence of *Heterosigma carterae* (Raphidophyceae), and the phylogenh of heterokont algae (Ochrophyta). *Phycologia* 35: 500-510.
- CAVALIER-SMITH, T. 1983. A 6-kingdom classification and a unified phylogeny. En: SCHWEMMELER, V. & SCHENK, H.E.A. (eds.). *Endocytobiology* II. pp. 1027-1034. Cramer. Berlin.
- CAVALIER-SMITH, T. 1988. Eukaryote cell evolution. *Proceedings of the International Botanical Congress, Berlin 1987*. pp. 203-223. Koeltz. Königstein.
- CAVALIER-SMITH, T. 1989. The kingdom Chromista. En: GREEN, J.C. y col., (eds.). *The Chromophyte algae: problems and perspectives*. pp. 379-405. Oxford University Press.
- CAVALIER-SMITH, T. 1998. A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews* 73: 203-266
- CAVALIER-SMITH, T. 2001. What are fungi? En: McLAUGHLIN, D.J. y col. (eds). *The Mycota VII Part A, Systematics and evolution*. pp. 2-37. Springer Verlag. Berlin.
- HAWKSWORTH, D.L. (ed.). 1995. *Biodiversity: measurement and estimation*. Chapman & Hall. Londres.
- HAWKSWORTH, D.L., KIRK, P.M., SUTTON, B.C. & PEGLER, D.N. (eds.). 1995. *Ainsworth et Bisby's Dictionary of the Fungi*. 8th Edition. CAB International. Wallingford.
- KIRK, P. M., CANNON, P. F., DAVID, J. C. & STALPERS, J. A (eds.). 2001. *Ainsworth et Bisby's Dictionary of the Fungi*. 9th Edition. CAB International. Wallingford
- LLIMONA, X. 1997. Los hongos. En: IZCO, J. (ed.). *Botánica*. pp. 241-308. McGraw-Hill-Interamericana. Madrid.
- SCAGEL, R.F., BANDONI, R.J., MAZE, J.R., ROUSE, G.E., SCHOFIELD, W.B. & STEIN, J.R. 1991. *Plantas no vasculares*. Ed. Omega. Barcelona.
- WHITTAKER, R.H. 1959. On the broad classification of organisms. *Quarterly Review of Biology* 34: 210-226.
- Páginas web consultadas:
 BIOTA-FAPESP. 1994. <http://www.biota.org.br>
 PEREDA PRADO, J. 2005. *Sistemática zoológica* en <http://www.geocities.com>
 UNIVERSAL TAXONOMIC SERVICES. 2005. *The taxonomicon* en <http://sn2000.taxonomy.nl>
 TREE OF LIFE PROJECT. 1995-2004. <http://www.tolweb.org/tree>

LIXIVIACIÓN MICROBIANA

X. VÁZQUEZ CAMPOS

xvazquezc@gmail.com

Alumno 4º Biología, Materia: Microbiología Aplicada (2005-06). Universidade de Vigo

Profesora: Carmen Sieiro.

modelo de filogenia, basada principalmente en datos moleculares y ultraestructurales (Fig. 3).

Resumen: La lixiviación microbiana o biolixiviación es un proceso mediante el cual, utilizando microorganismos, se extraen los metales a partir de las rocas que los contienen. Consiste en la conversión de un metal insoluble, normalmente en forma de sulfuro, en una forma soluble, normalmente como sulfato. Es un proceso complejo llevado a cabo por una comunidad microbiana acidófila entre la que destacan los géneros *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum* y *Acidiphilium*.

Resumo: A lixiviación microbiana ou biolixiviación é un proceso polo cal, empregando microorganismos, extraense os metais a partir das rochas que os conteñen. Baséase na conversión dun metal insoluble, xeralmente en forma de sulfuro, nunha forma soluble, xeralmente como sulfato. É un proceso complexo levado a cabo por unha comunidade microbiana acidófila entre a que destacan os xéneros *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum* e *Acidiphilium*.

INTRODUCCIÓN

Desde la obtención de la primera patente biominera por Kennecott Copper Corporation en 1958, han aparecido numerosos términos en la bibliografía para definir estos procesos. El término biolixiviación o lixiviación microbiana hace referencia a la conversión de un metal insoluble, normalmente en forma de sulfuro, en una forma soluble, normalmente como sulfato, y todo ello mediado por la acción de microorganismos, especialmente bacterias oxidantes del hierro y del azufre. Cuando esto ocurre, el metal es extraído en agua. Por ello, algunos autores adjudican el sinónimo de biohidrometalurgia a este proceso, de forma análoga a la hidrometalurgia convencional.

Además, como estos procesos son oxidaciones, también pueden denominarse biooxidación. Sin embargo, el término biooxidación se usa normalmente para referirnos a procesos en los que la recuperación del metal se incrementa gracias a la descomposición microbiana de la matriz mineral en la que se encuentra inmerso, pero el metal que se está recuperando no es solubilizado. Así ocurre en el caso de la recuperación del oro a partir de arsenopirita, en el que el metal ha de extraerse en un proceso posterior por disolución en cianuro. Por tanto, el término biolixiviación es, en este caso, un tanto inapropiado, pues no son los microorganismos los que solubilizan el oro. Aquí, se prefiere el término genérico de biominería para referirse a ambos procesos.

A pesar de toda esta amplia y quizás confusa terminología, se suele emplear el término biominería en sentido amplio para englobar a todos estos procesos y en sentido estricto a los que ocurren en reactores, mien-

tras que se adjudica biolixiviación al proceso llevado a cabo al "aire libre".

APLICACIONES

En el proceso minero

Debido a la alta eficacia con la que los microorganismos implicados en estos procesos separan al metal del resto de la roca madre, se han conseguido realizar explotaciones económicamente rentables a partir de yacimientos con concentraciones de metal tan bajas que por los tradicionales métodos físico-químicos de extracción supondrían pérdidas de gran cuantía. Además, es viable la reapertura de antiguas minas que fueron abandonadas debido a que los filones principales ya se encontraban agotados para la explotación de depósitos submarginales.

En el caso de yacimientos con una riqueza de metal media-baja, con la biolixiviación se consigue incrementar el rendimiento de la extracción hasta valores cercanos al 95% o incluso mayores, algo impensable por métodos tradicionales como la pirometalurgia o la hidrometalurgia. En el proceso más extendido, la biolixiviación de cobre, se obtiene un metal de una pureza del 99,99%, muy superior a los del cobre electrolítico (99,1%) o el catódico (90%). Por otra parte, se reducen enormemente los costes de producción: los reactores o pilas de mineral apenas necesitan control; no se precisan las ingentes cantidades de energía necesarias para el tueste y/o reducción de la mena; no hay gastos en la compra de carbón de coque, aluminio, monóxido de carbono, etc., necesarios para reducir los distintos óxidos; no hace falta transportar el material de un lugar a otro, el proceso de recuperación del metal se hace

en el mismo sitio, o prácticamente en el mismo; y, con algunos procesos, se pueden obtener metales incluso a partir de silicatos.

A todo esto se le añaden otras ventajas como que en muchos casos el material obtenido previo al purificado tiene una mayor pureza y en ocasiones ya es posible utilizarlo como tal.

Actualmente, la biominería no sólo supone una alternativa, sino que constituye una realidad. Del millón de Tm de cobre producidas anualmente por USA a finales de los 90', el 25% procedía de la biominería. En Chile, país en el que se calculan las mayores reservas mundiales de cobre, unos 150 millones Tm, aproximadamente 147 millones, se

presentan en yacimientos de baja riqueza que sólo son rentables si se extraen por estos procedimientos. En Sudáfrica, una parte considerable del oro, también se extrae así.

MICROORGANISMOS EMPLEADOS

Los procesos de lixiviación microbiana son de los pocos procesos industriales llevados a cabo por microorganismos en los que nunca se inocula el medio, salvo en el caso de los, cada vez más frecuentes, procesos biomineros llevados a cabo por bacterias u hongos heterótrofos. Los microorganismos presentes en el mineral durante el procesamiento son los que están presentes y componen de forma natural la comunidad biológica de ese hábitat.

Todos estos microorganismos son acidófilos estrictos, la mayoría no crecen o incluso se lisan a partir de valores de pH entre 4-6 según la bacteria. Sus pHs óptimos de crecimiento están en torno a 1,5-2,0. En ocasiones se añaden suplementos de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y KH_2PO_4 , o fertilizantes con fosfato y amonio, para asegurar un buen y rápido crecimiento.

Entre los microorganismos más importantes implicados en estos procesos destacamos los siguientes: *Acidithiobacillus ferrooxidans* (antes *Thiobacillus ferrooxidans*). Es quimiolitotrofo obligado, aerobio estricto y mesófilo (no crece a partir de los 42° C). Se desarrolla sobre pirita, azufre y gran número de sulfuros minerales de manera natural (Figs. 1A y B). Pequeñas cantidades de materia orgánica inhiben de manera importante su crecimiento. A pesar de tener un crecimiento óptimo alrededor de los 30-35° C, esta bacteria se adapta con facilidad a otros rangos de temperatura. Oxida tanto hierro ferroso como azufre en distintos esta-

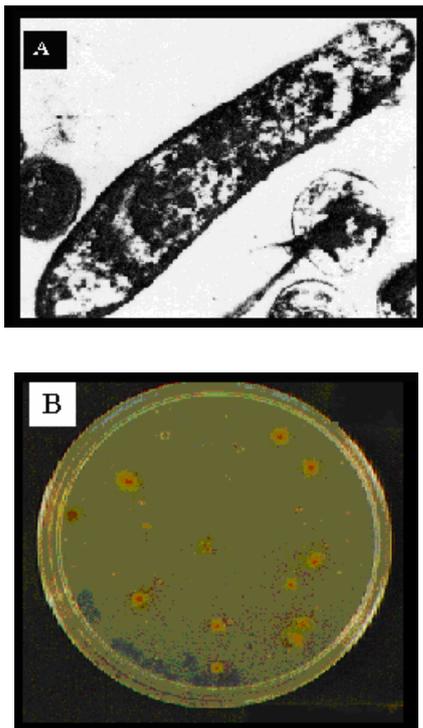


Fig. 1. *Acidithiobacillus ferrooxidans*. A) Micrografía electrónica. B) Bacteria creciendo en un medio que contiene hierro (II); Obsérvese el color rojo-naranja debido a la producción de hierro (III) al oxidar *At. ferrooxidans* el hierro (II). Tomada de "A microbial biorealm page on the genus *Thiobacillus*" (<http://mirobewiki.kenyon.edu/index.php/Thiobacillus>).

dos de oxidación, así como algunos sulfuros metálicos. Presenta gran resistencia a altas concentraciones de metales. Ha sido el más estudiado de todos los microorganismos que participan en este proceso, aunque en algunas publicaciones le otorgan un papel casi secundario.

Acidithiobacillus thiooxidans (antes *Thiobacillus thiooxidans*). También quimiolitotrofo obligado, es mucho más resistente a valores bajos de pH, crece incluso a pHs de 0,5. A diferencia de *At. ferrooxidans*, es incapaz de oxidar hierro, por lo que su papel fundamental es la oxidación del azufre y la acidificación del medio.

Leptospirillum ferrooxidans. Es quimiolitotrofo obligado, oxida hierro ferroso de sulfuros minerales como única fuente de energía. Es aerobio, acidófilo obligado y sensible a materia orgánica.

El género *Acidiphilium* engloba diversos quimiorganótrofos o quimiolitótrofos acidófilos o ácido-tolerantes que a bajas concentraciones de oxígeno pueden emplear Fe^{3+} como aceptor de electrones, regenerando el Fe^{2+} necesario para *At. ferrooxidans* y *L. ferrooxidans*. Se encuentra creciendo frecuentemente cerca de bacterias acidófilas oxidantes de Fe y/o S, aprovechando los residuos orgánicos producidos por éstas o por el lisado de células. Una única especie de todo el género, *Acidiphilium acidophilum* (antes *Thiobacillus acidophilus*), es capaz de crecer de forma autótrofa empleando azufre inorgánico reducido, heterótrofa usando distintas fuentes de carbono o mixótrofa haciendo acopio de ambos recursos.

PROCESO DE LIXIVIACIÓN DEL HIERRO

Este proceso, a diferencia del biolixiviado del cobre, no tiene como fin la extracción de hierro. Esto es debido a que es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y como tal, está presente en casi todas las rocas y forma muchos minerales explotables por métodos tradicionales. Sin embargo, su conversión a hierro férrico constituye un agente oxidante ideal para la extracción de otros metales.

Acidithiobacillus ferrooxidans oxida la pirita (FeS_2) por contacto formando sulfato ferroso como se muestra en las reacciones [1], [2] y [3] de la Tabla 1.

Así se produce el hierro férrico necesario para realizar el resto de las reacciones, tanto para recuperar el metal que se desea obtener como para seguir acidificando el medio, proceso que lleva a cabo fundamentalmente *At. thiooxidans* pues compite y desplaza a *At. ferrooxidans* de la oxidación del azufre. Este proceso se puede llevar a cabo por 2 vías: la del tiosulfato y la del polisulfuro.

En el mecanismo del tiosulfato, el hierro (III) es reducido por acción de las bacterias, que toman sulfuros metálicos insolubles en medio ácido como la pirita (FeS_2) o la molibdenita (MoS_2) como aceptores de electrones (concretamente, el Fe^{3+} y el S), con el tiosulfato como intermediario y sulfato como principal producto final (reacciones [4] y [5] de la Tabla 1).

Por otra parte, el mecanismo de polisulfuro se basa en la disolución de otros sulfuros minerales (no de hierro), solubles en medio ácido como la esfalerita (ZnS), la calcopirita ($CuFeS_2$) o la galena (PbS), por reacción con hierro férrico y protones, con azufre mo-

	Reacción	Tipo
1	$4 \text{FeS}_2 + 14 \text{O}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{FeSO}_4 + 4 \text{H}_2\text{SO}_4$	Bacteriana
2	$4 \text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$	Bacteriana
3	$4 \text{FeS}_2 + 15 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$	Bacteriana
4	$\text{FeS}_2 + 6 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 7 \text{Fe}^{2+} + 6 \text{H}^+$	Bacteriana
5	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 8 \text{Fe}^{3+} + 5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{SO}_4^{2-} + 8 \text{Fe}^{2+} + 10 \text{H}^+$	Bacteriana
6	$\text{MS} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}^+ \rightarrow \text{M}^{2+} + 0,5 \text{H}_2\text{S}_n + \text{Fe}^{2+} \quad (n \geq 2)$	Bacteriana
7	$0,5 \text{H}_2\text{S}_n + \text{Fe}^{3+} \rightarrow 0,125 \text{S}_8 + \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+$	Bacteriana
8	$0,125 \text{S}_8 + 1,5 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}^+$	Bacteriana

Tabla 1. Reacciones que se suceden durante el lixiviado del hierro. Aunque algunas pueden ocurrir químicamente, el efecto catalizador de las bacterias es considerablemente más importante.

lecular como principal intermediario. El azufre formado es relativamente estable pero puede ser oxidado a sulfato por bacterias oxidantes de azufre (reacciones [6], [7] y [8] de la Tabla 1).

Las grandes cantidades de hierro ferroso producidas por la descomposición del mineral se pueden volver a oxidar a hierro (III) tal como muestra la reacción [2] (Tabla 1), que se utilizará para la recuperación de otros metales, especialmente el cobre. Asimismo, se liberan partículas de azufre coloidal que son aprovechadas por las bacterias, produciendo más ácido como indica la reacción [8] (Tabla 1).

PROCESO DE LIXIVIACIÓN DEL COBRE

Se utiliza para la obtención de cobre a partir de minerales como la calcopirita (CuFeS_2), calcosina (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4) y covellina (CuS). Estos minerales pueden descomponerse por acción bacteriana o por reacción con el sulfato férrico del medio. En el caso de acción microbiana, las bacterias responsables son: *At. ferrooxidans* o, en el caso de los minerales con hie-

rrero, también *Leptospirillum ferrooxidans*. La descomposición por acción microbiana de la calcopirita, calcosina y covellina se muestran en las reacciones [9], [10] y [11] de la Tabla 2 respectivamente, así como las reacciones por acción del hierro férrico ([12], [13] y [14], Tabla 2).

Durante estas reacciones, el azufre elemental se deposita como una capa protectora sobre el mineral, parando el proceso, pero es rápidamente eliminado por las bacterias oxidantes de azufre como en la reacción [8] (Tabla 1).

Una vez la fase líquida del lixiviado pasa por el mineral y se disuelven en ella los subproductos formados, se hace pasar esta disolución a través de residuos de hierro, limaduras o por electrodos de hierro, de manera que se produce una reacción redox espontánea (reacción [15] de la Tabla 2) que precipita el cobre.

Así, el líquido resultante rico en hierro (II) se rectifica a $\text{pH} = 2$, y es, en la mayoría de los casos, reconducido a un tanque de oxidación que contiene la gran mayoría de las bacterias que intervienen en el proceso. En

	Reacción	Tipo
9	$2 \text{CuFeS}_2 + 8,5 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$	Bacteriana
10	$2 \text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{CuS} + 2 \text{CuSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	Bacteriana
11	$\text{CuS} + 0,5 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 0,125 \text{S}_8$	Bacteriana
12	$\text{CuFeS}_2 + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 5 \text{FeSO}_4 + 0,25 \text{S}_8$	Química
13	$\text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow 2 \text{CuSO}_4 + 4 \text{FeSO}_4 + 0,125 \text{S}_8$	Química
14	$\text{CuS} + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 2 \text{FeSO}_4 + 0,125 \text{S}_8$	Química
15	$\text{CuSO}_4 + \text{Fe}^0 \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{FeSO}_4$	Química

Tabla 2. Reacciones que se suceden durante el lixiviado de cobre.

este tanque se produce la mezcla ácida para el lixiviado, que posteriormente se hace discurrir de nuevo sobre el mineral.

Dentro de la biolixiviación existen otros procesos bien desarrollados y en activo como la extracción de uranio y de oro. Actualmente están en desarrollo procesos innovadores que emplean directamente bacterias cianogénicas como *Chromobacterium violaceum*, para que, entre otros proyectos, recuperen las ingentes cantidades de oro de la chatarra electrónica.

LOS MÉTODOS: IRRIGACIÓN Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN

En biominería existen básicamente dos formas básicas de explotación: la irrigación o los tanques de lixiviación. En cualquiera de los métodos empleados, el molido del mineral hasta un grano más o menos fino es indispensable para una buena actuación de las bacterias.

Irrigación

El fundamento de estos métodos es la circulación de manera más o menos continua del líquido de lixiviado.

Lixiviación en pendiente (*dump leaching*):

la traducción del término original sería lixiviación de escombreras, pues es apto para la extracción de material a partir de escombros de antiguas explotaciones (mineral submarginal). El mineral se tritura y amontona en la ladera de una montaña. Con una bomba se rocía el mineral y el líquido enriquecido se recoge en la parte inferior de la ladera y se trata para la recuperación del

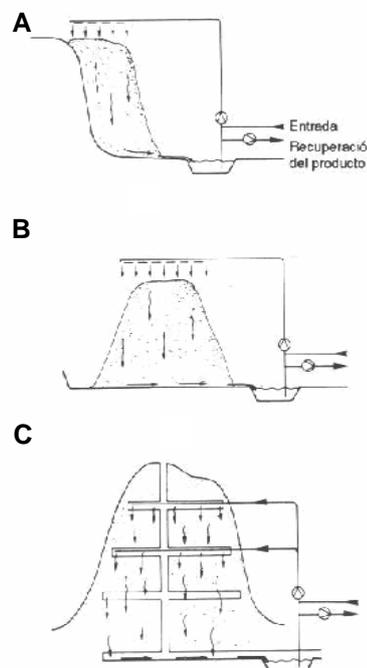


Fig. 2. Lixiviación mediante irrigación. A) Lixiviación en pendiente. B) Lixiviación en pilas. C) Lixiviación "in situ". Tomada de Crueger y Crueger, 1993.

mineral. El agua se reutiliza después para la regeneración de las bacterias en un estanque de oxidación (Fig. 2A).

Lixiviación en pilas (*heap leaching*): se irriga de manera similar al lixiviado en pendiente. Se emplea para mineral de bajo grado (Fig. 2B).

Lixiviación en cubas o estanques (*vat leaching*): se construyen unos diques dentro de los cuales se deposita el mineral. La zona se asfalta antes de construir los diques para evitar pérdidas de líquido. El sistema de irrigación apenas cambia. Es similar al anterior.

Lixiviación in situ (*in-situ leaching*): el agua con bacterias se inyecta directamente en la mena no extraída que previamente se ha perforado por múltiples lugares. Es viable realizarlo en pozos de minas que ya no se explotan. Es frecuente que para aumentar la permeabilidad de la roca, se introduzcan cargas explosivas en el suelo que contiene el mineral. En este proceso es recomendable que a cierta profundidad exista una capa de roca impermeable que impida el escape del lixiviado. Para recuperar el mineral se bombea el líquido desde lo más profundo de la explotación. Normalmente también se introducen unas sondas que inyectan aire en el mineral, pues la anoxia y ausencia de dióxido de carbono en esta metodología aparecen con facilidad. Se usa para tratamiento de mineral submarginal (Fig. 2C).

Tanques de lixiviación

Son típicos reactores biológicos, aunque suelen ser algo más pequeños. Se emplean casi exclusivamente en la biominería del oro. La suspensión mineral es trasladada sucesivamente de un tanque a otro. En es-

tos tanques sólo se controla el pH y que la aireación sea buena. El último tanque al que se llega es un tanque de decantación. Al líquido se le ajusta el pH por última vez y se lleva a depurar. El sólido decantado es donde está el oro.

BIBLIOGRAFÍA

BARIACH, D. 2005. A microbial biorealm page on the genus *Thiobacillus*. <http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/thiobacillus>.

BRIERLEY, J.A. & BRIERLEY, C.L. 2001. Present and future commercial applications of biohydrometallurgy. *Hydrometallurgy* 59:233-239.

CASTRO, I.M., FIETTO, J.L.R., VIEIRA, R.X., TRÓPIA, M.J.M., CAMPOS, L.M.M., PANIAGO, E.B. & BRANDÃO, R.L. 2000. Bioleaching of zinc and nickel from silicates using *Aspergillus niger* cultures. *Hydrometallurgy* 57:39-49.

CRUEGER, W. & CRUEGER, A. 1993. *Bioteconología: manual de microbiología industrial*. 3ª edición. Acribia D.L. Zaragoza.

EFE. 2002. Empresa chileno-japonesa mejorará procesos biológicos en minería. *Finanzas.com* 10 julio (párrafo 5). <http://www.finanzas.com/id.4130435/noticias/noticia.htm>.

FARAMARZI, M.A., STAGARS, M., PENSINI, E., KREBS, W. & BRANDL, H. 2004. Metal solubilization from metal-containing solid materials by cyanogenic *Chromobacterium violaceum*. *Journal of Biotechnology* 113:321-326.

GARRITY, G.M. 2001. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd edition. Springer. New York.

GLAZER, A.N. & NIKAIIDO, H. 1995.

Microbial biotechnology. Fundamentals of applied microbiology. W.H. Freeman and Company. New York.

MOFFAT, A.S. 1994. Microbial Mining Boosts the Environment, Bottom Line. *Science* 264:778-779.

MUÑOZ, J.A., GONZÁLEZ, F., BLÁZQUEZ, M.L. & BALLESTER, A. 1995. A study of the bioleaching of a Spanish uranium ore. Part I: A review of the bacterial leaching in the treatment of uranium ores. *Hydrometallurgy* 38:39-57.

RAWLINGS, D.E. 2002. Heavy Metal Mining Using Microbes. *Annu. Rev. Microbiol.*

56:65-91.

RAWLINGS, D.E. 2005. Characteristics and adaptability of iron- and sulphur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates. *Microbial Cell Factories* 4:13.

RAWLINGS, D.E., TRIBUTSCH, H. & HANSFORD, G.S. 1999. Reasons why "Leptospirillum"-like species rather than *Thiobacillus ferrooxidans* are the dominant iron-oxidizing bacteria in many commercial processes for the biooxidation of pyrite and related ores. *Microbiology* 145:5-13.

ÁLBUM FOTOGRÁFICO

Ana Vázquez Iglesias

pumanegro-vazquez@hotmail.com

Alumna 1º de Bioloxía, Materia: Zooloxía (2006-2007). Universidade de Vigo.

Profesoras: Fuencisla Mariño e María Jesús Iglesias

INTRODUCCIÓN

Este trabajo ha formado parte de las actividades de la asignatura de Zoología como complemento de las prácticas.

Ha sido muy interesante y ameno, consiguiendo que animales, que en condiciones normales, pudieran pasarme desapercibidos, hayan llamado más mi atención.

Su realización ha sido costosa, en el sentido de la búsqueda del nombre de las especies y su clasificación, pero no me ha supuesto mucho trabajo tomar las fotografías

dado que todos son animales bastante comunes y sabía perfectamente dónde encontrarlos.

Los lugares en los que he encontrado estos animales han sido: Vilar de Infesta (Redondela) y sus proximidades, Salceda de Caselas, la zona de As Lagoas-Marcosende, la playa de San Vicente del Mar (Sanxenxo), la de As Saíñas (Cambados), y la de Redondela y las plazas de abastos de Cabral y Cambados.



Filo: Porifera
Clase: Demospongiae
Nombre común: Esponja de baño

Como todas las esponjas de baño, ésta pertenece a la clase Desmosponjas. Ha sido comprada en una droguería ya que estos animales son usados para lavar a niños, bebés o incluso para adultos.



Filo: Cnidaria
Clase: Anthozoa
Subclase: Zoantharia
Orden: Actiniaria
Familia: Actiniidae
Género: *Anemonia*
Especie: *Anemonia sulcata*
Nombre común: Anémona de mar común

Este pólipo, conocido como anémona, ha sido fotografiado en unas rocas de la zona intermareal de San Vicente del mar, cerca de A Lanzada, a las que ya le había llegado la marea, por eso se encontraba con los tentáculos tan extendidos.

La saqué del agua para fotografiarle detalles, pero se puede apreciar un enorme descenso en la belleza de este animal al sacarlo de su medio natural.



Filo: Mollusca
Clase: Bivalvia
Subclase: Lamelibranchia
Orden: Veneroida
Familia: Cardiidae
Género: *Cerastoderma*
Especie: *Cerastoderma edule*
Nombre común: Berberecho

Este ejemplar ha sido fotografiado en una playa de la Ría de Vigo, concretamente en Rondela. Aunque en otras épocas ha sido muy abundante, y sólo servía para dar sabor a arroces, ahora es uno de los moluscos más apreciados.

Lo extraen mariscadores que faenan a pie aprovechando la bajamar o desde pequeñas embarcaciones muy cerca de la costa.



Filo: Mollusca
Clase: Gastropoda
Subclase: Pulmonata
Orden: Stylommatophora
Suborden: Sigmurethra
Superfamilia: Helicoidea
Familia: Helicidae
Género: *Helix*
Especie: *Helix aspersa*
Nombre común: Caracol común de jardín

Este caracol ha sido encontrado en una casa en construcción en Salceda de Casellas, provincia de Pontevedra.



Filo: Arthropoda
Subfilo: Crustacea
Clase: Malacostraca
Subclase: Eumalacostraca
Orden: Decapoda
Familia: Portunidae
Género: *Carcinus*
Especie: *Carcinus maenas*
Nombre común: Cangrejo verde

Este cangrejo verde ha sido encontrado en unas rocas cercanas a Cambados, precisamente en la playa de As Saíñas, una playa de marisqueo en donde en estos momentos esta especie ha disminuido su gran número, si lo comparamos con años atrás, pues ha pasado de ser una especie de número amplísimo a quedar muy reducida.



Filo: Arthropoda
Subfilo: Atelocerata
Superclase: Hexapoda
Clase: Insecta
Orden: Hemiptera
Familia: Pentatomidae
Género: *Picromerus*
Especie: *Picromerus bidens*
Nombre común: Chinche o chinche hedionda

Esta chinche ha sido encontrada en las proximidades del Cuvi, pero son frecuentes en todos los prados. Junto con la otra especie de chinche de estas zonas, la chinche verde (que también se encuentra con facilidad) pueden llegar a ser plagas agrícolas graves debido a que chupan plantas.

El olor que desprenden sus glándulas torácicas, junto con su placa triangular del dorso los convierte en animales muy característicos.



Filo: Echinodermata
Clase: Asteroidea
Orden: Forcipulata
Familia: Asteroiidae
Género: *Asterias*
Especie: *Asterias rubens*
Nombre común: Estrella de mar

Esta especie de estrella de mar es muy común en cualquier playa rocosa de las costas gallegas, como San Vicente o Liméns. Para los buceadores se convierte en uno de los animales más apreciados de las costas rocosas debido a su esplendor y belleza.



Filo: Chordata
Subfilo: Vertebrata
Superclase: Gnathostomata
Clase: Chondrichthyes
Subclase: Elasmobranchii
Orden: Lamniformes
Familia: Scyliorhinidae
Género: *Scyliorhinus*
Especie: *Scyliorhinus canicula*
Nombre común: pintarroja

Este pez cartilaginoso ha sido pescado en la Ría de Arousa. Resulta muy habitual en las lonjas gallegas, y aunque difícilmente se encuentra en mercados locales (ya que se destina a su venta fuera de Galicia), así ha sido en el Mercado de Cambados. Es muy conocido entre la gente del pueblo que frecuenta la plaza y dicen que su sabor es exquisito, aunque los escualos y en particular el cazón, no gozan de mucha aceptación entre los gallegos.

El palangre es la técnica más habitual de pesca, ya que si aparece en redes de arrastre, la carne pierde consistencia y tiende a molerse demasiado.

REBIO O

Plantas carnívoras. M.A.García Saavedra, A. López Nogueira,
D. Mallo Adán y O. Martínez Troncoso _____ 7

Análise dos epítetos específicos de plantas vasculares galegas. A. Amedo Otero, A. Buendía Montesinos, C. Carballo de Dios y M. Fernández Martín _____ 15

Clonación. B. Fernández Gil, I. García Moreiras, J. Irisarri Cal y G. Loureiro Abalde _____ 21

El microscopio desde Leeuwenhoek hasta la actualidad
B. Fernández García e I. Ayala Cristancho _____ 29

Filogenia de Hongos. O. Felip Arias _____ 37

Lixiviación Microbiana. X.Vázquez Campos _____ 47

Álbum fotográfico. A.Vázquez Iglesias _____ 55

