

REV B IGO

Revista da Facultade de Bioloxía. Universidade de Vigo

Volume X | Ano 2018

GERTRUDE B. ELION



biochemist and pharmacologist

REVBIGO

Revista da Facultade de Bioloxía. Universidade de Vigo



Facultade de Bioloxía
Universidade de Vigo

Esta publicación foi financiada con fondos procedentes da Facultade de Bioloxía da Universidade de Vigo. Todos os dereitos quedan reservados o equipo editor. Calquera reprodución total ou parcial sen permiso será considerado plaxio.

<http://bioloxia.uvigo.es>

Consello Editorial

Marisa Castro Cerceda
Emilio Gil Martín
Fuencisla Mariño Callejo
Manuel Megías Pacheco
Pilar Molist García
Manuel Ángel Pombal Diego
Jonatan Reboredo Durán

Profesora Titular de Botánica
 Profesor Titular de Bioquímica
 Profesora Titular de Zooloxía
 Profesor Titular de Biología Celular
 Profesora Titular de Biología Celular
 Profesor Titular de Biología Celular
 Alumno egresado do Grao en Biología

Dpto. de Biología Vexetal e Ciencias do Solo
 Dpto. de Bioquímica, Xenética e Inmunoloxía
 Dpto. de Ecoloxía e Biología Animal
 Dpto. de Biología Funcional e Ciencias da Saúde
 Dpto. de Biología Funcional e Ciencias da Saúde
 Dpto. de Biología Funcional e Ciencias da Saúde
 Dpto. de Biología Vexetal e Ciencias do Solo

Colaboradores

M^a Jesús Iglesias Briones
Aida García Molares
M^a Fuencisla Mariño Callejo
Josefina Garrido González
Antonio Carvajal Rodríguez
M^a Luisa Castro Cerceda

Catedrática de Zooloxía
 Profesora Titular de Botánica
 Profesora Titular de Zooloxía
 Profesora Titular de Zooloxía
 Profesor Titular de Xenética
 Profesora Titular de Botánica

Dpto. de Ecoloxía e Biología Animal
 Dpto. de Biología Vexetal e Ciencias do Solo
 Dpto. de Ecoloxía e Biología Animal
 Dpto. de Ecoloxía e Biología Animal
 Dpto. de Bioquímica, Xenética e Inmunoloxía
 Dpto. de Biología Vexetal e Ciencias do Solo

Edita: Decanato da Facultade de Biología

Jesús M. Míguez Miramontes
Mercedes Gallardo Medina
Manuel Ángel Pombal Diego
Fuencisla Mariño Callejo
Aida García Molares

Decano
 Vicedecana
 Vicedecano
 Vicedecana
 Secretaria

ISSN: 2386-8929

Índice

Anuario

Tempo de títulos	07
La excelencia sin estridencia de Gertrude Belle Elion	09
Achegamento da Facultade de Bioloxía ao público en xeral	13
V Exposición Micolóxica da Facultade de Bioloxía	15
La biología es nuestra vida y también nuestro futuro	17
Conferencia de San Alberte 2017: <i>CSI made in Galicia</i>	21
Incendios forestais: a «marea negra» dos montes galegos	23
Redacción y ejecución de proyectos: una experiencia colaborativa en 4º curso de Biología	25
Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso de la Madrina	27
Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso del Padrino	29
Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso de los alumnos	31

Traballos académicos

<i>Chrysomallon squamiferum</i> : un titán desconocido <i>Alonso Carballo, D.; Fernández Troncoso, E.; González Campos, C. y Pérez Lago, J. M.</i>	34
La «revolución sexual» de los reptiles <i>Almuiña Domínguez, I.; Armesto Luaces, M.; Blanco Vaqueiro, M.; Bouzada Díaz, R.; Fernández Gutiérrez, J.; Fernández Varela, J.; González Abalde, C.; González Campos, C.; Lagoa Núñez, A.; Marra Fernández, J.; Martínez Barreiro, I.; Martínez Vaquero, C.; Melón Raña, A.; Ramos Gallego, E.; Rodríguez Addesso, B.; Seoane Liberata, C. y Vázquez Limia, C.</i>	37
Micorrizas <i>Fonseca Silva, P.; González Abalde, C.; Silva Bea, S.; Touza Soage, P. y Trigo Viéitez, A.</i>	42
Setas tóxicas <i>Panebianco Barreiro, A.; Rafael Vidal, C.</i>	48
Avaliación do efecto causado na fauna de macroinvertebrados por unha minicentral hidroeléctrica no río Fragoso (Ourense) <i>Polina González, A.</i>	55
Estudio del sesgo mutacional en contenido G+C en posiciones variables (SNPs) de las poblaciones humanas africana, asiática y centroeuropea <i>Pérez Rodríguez, D.</i>	61
Estudio temporal de la biodiversidad de macroinvertebrados en lagunas de la Red Natura 2000 <i>Davila Fernández, M.</i>	67
Análisis del crecimiento de hongos con interés nutracéutico sobre diversos sustratos vegetales: optimizando dos protocolos de cultivo miceliar <i>Vázquez Fernández, E.</i>	74
Catálogo micológico da reserva da biosfera na área de Allariz - Concello de Allariz <i>Rivas-Ferreiro, M.</i>	79
A mediación como ferramenta para a mellora da convivencia no I.E.S. Antón Alonso Ríos de Tomiño <i>Rodríguez Romero, M.</i>	85

ANUARIO

Tempo de títulos

A implantación dos novos títulos universitarios no marco o Espazo Europeo de Educación Superior, coñecidos coloquialmente como títulos adaptados a Bolonia, comportou un longo proceso de adaptación de contidos, metodoloxías docentes e sistemas de avaliación a fin de alcanzar os obxectivos e competencias definidos no deseño dos mesmos. En paralelo aos Graos en Bioloxía que xurdiron do ronsel marcado pola previa Licenciatura en Bioloxía cumpridamente implantada a nivel do estado español, xurdiron unha infinidade de títulos de grao relacionados co mesmo ámbito de coñecemento, incluíndo os campos da biotecnoloxía, ciencias ambientais, biomedicina e bioloxía humana, entre outros.

Neste proceso de varios anos foi a miúdo evidente un transfundo de loita interna nas diferentes comunidades do estado por facerse co maior número posible de títulos biolóxicos, ou en todo caso entre universidades por lograr algún máis que a universidade veciña. Todos estes novos títulos comparten co de Grao en Bioloxía unha boa parte dos seus contidos e competencias, que se despregan en materias facilmente identificables, os cales formaban tamén parte de que as licenciaturas en bioloxía. En definitiva, o proceso dirixiuse de forma rápida polos interesados cara ao humilde obxectivo de repartirse a torta denominada “bioloxía”, ou os anacos da mesma, seguindo o principio de que o que primeiro pilla, primeiro lévallo.

Curiosamente, a situación en Galicia evolucionou de maneira diferente que no resto do Estado, xa que o Grao en Bioloxía implantado nas tres Universidades galegas permaneceu como única titulación derivada da anterior Licenciatura de Bioloxía. Con iso e quizais como parte dun pacto tácito, evitouse unha loita intestina entre as universidades galegas por ampliar o número de títulos de ciencias, tentando os responsables racionalizar, ao meu xuízo con boa lóxica, o mapa de titulacións do SUG xa de por se complexo e con evidentes repeticións. Tras nove anos nesta condición restritiva, no presente curso deuse por aberto o proceso de novas titulacións que incluírá unha de Grao en Biotecnoloxía de inmediata implantación na universidade compostelá.

Lonxe de criticar a existencia da devandita titulación, cuxa presenza é xa un feito en case vinte universidades de España, este escrito pon en dúbida a eficacia da medida iniciada en Galicia sen levarse a cabo un estudo profundo sobre a súa necesidade, a teor dos Graos de Bioloxía existentes, que incluíse tamén unha consulta aos centros que actualmente impartimos a titulación matriz. Non parece considerarse a súa posible repercusión nos títulos xa existentes de Bioloxía, nin a existencia dun máster en Biotecnoloxía Avanzada fortemente arraigado no SUG, nin lamentablemente o contexto laboral en que os novos titulados levarán a cabo a súa actividade. No fondo desta análise debería subxacer sen dúbida a demanda de estudantes polas titulacións de ámbito científico, a cal

é moi elevada nestes momentos, pero tamén e de maneira prioritaria a necesidade social deses titulados, cuxo horizonte competencial e laboral superponse notablemente cos graduados en Bioloxía.

É evidente a falta de estudos rigorosos de inserción laboral que faciliten a análise global do proceso, non só tendo en conta o contexto actual senón cunha previsión a medio e longo prazo, pensando nos futuros graduados. Sexa como for, o efecto negativo provocado polos anos de crise económica tardará en facerse notar na creación de postos de traballo, máxime cando a precariedade laboral parece unha norma dos tempos actuais e a demanda de postos especializados do ámbito da bioloxía é escasa, con moitos licenciados e graduados véndose obrigados á emigración e con poucas perspectivas de atopar un posto de traballo en relación coa súa formación. Neste contexto, non é evidente a oportunidade de incrementar a oferta de titulados no ámbito da bioloxía na nosa comunidade, salvo que aceptemos que priman as razóns de oportunismo político-universitario por encima dos argumentos académicos ou do interese social e laboral.

A conxuntura actual de títulos de grao e máster que coexisten na Facultade de Bioloxía da Universidade de Vigo claramente referenda unha estrutura baseada nunha titulación xeneralista de Grao e varios títulos de especialización con formato de Máster. Supostamente esta era a regra coa que se partía cando se deseñaron os títulos adaptados ao EEES e de feito a aposta da Facultade por ampliar a oferta de especialización foi decidida desde aquel entón. Como proba diso, no curso 2018-19 iniciáronse os estudos de Máster en Xenómica e Xenética, así como os de Máster en Biodiversidade, que se suman aos xa existentes de Acuicultura, Bioloxía Mariña, Neurociencia e Biotecnoloxía Avanzada, todos eles de carácter interuniversitario e con evidente éxito en canto a demanda de estudantes. Para a Facultade de Bioloxía é un reto prioritario manter a oferta de másteres e darlles estabilidade, compartindo as cargas e responsabilidades coas Facultades co-partícipes das Universidades de Santiago e A Coruña.

Pretender que estas titulacións teñan éxito e recoñézanse en Galicia e máis aló como unha formación especializada de primeiro nivel, é un reto que se está conseguindo con notable éxito e que debe formar parte dos nosos obxectivos futuros. Razoablemente, ao meu modo de ver, estes títulos tamén deberían ser máis apoiados na súa organización e recursos polos responsables Universitarios e da Comunidade, quen tamén os deberían ter en conta á hora de perfilar o futuro mapa de títulos de grao relacionados coa bioloxía, e mesmo á hora de mellorar a oferta existente.

Calquera planificación pode ser válida se está apoiada por estudos rigorosos e congruentes que lle dean respaldo, pero será un fracaso

se non ten en conta o que xa está en marcha e funciona de forma aceptable.

Mentres tanto, o noso obxectivo como centro debe ser a mellora continua das titulacións e a súa actualización para formar mellores profesionais da bioloxía que saiban responder ao que a sociedade demanda. Adiante, pois.

Jesús M. Míguez Miramontes
Decano da Facultade de Bioloxía

ANUARIO

La excelencia sin estridencia de Gertrude Belle Elion

Emilio Gil Martín

Profesor del Área de Bioquímica y Biología Molecular

Mujer; judía; emigrante; pobre. He aquí algunos de los condicionantes con que arrancó la vida de la protagonista de cabecera de este número de Revbigo. Bajo el cuádruple estigma de su sexo, adscripción religiosa, condición de origen y estatus socioeconómico, todo presagiaba una trayectoria de vuelo raso y difícil. Y no faltaron lastres en sus tobillos, como más adelante reseñaremos. Pero quizá intuyendo la profundidad de los versos de nuestro poeta hizo camino al nadar, imprimiendo determinación a todos sus pasos hasta esquivar prejuicios, estigmas y adversidades, y sustraer a la historia otra postergación que añadir al martirologio de la mujer en la causa de la ciencia. Porque como pronto quedará claro en estas líneas, la mujer que nos ocupa no sólo consiguió triunfar en un mundo netamente masculino –que tanto ha menospreciado las aportaciones femeninas a las artes y las ciencias–, sino brillar como una de las bioquímicas y farmacólogas de más talento de su generación y de paso labrar una de las carreras más importantes de la Medicina de todos los tiempos.



Nacida un frío enero en el Nueva York de 1918, Gertrude Belle Elion fue hija de emigrantes; Robert Elion, dentista de origen lituano

llegado a EEUU con 12 años y Bertha Cohen, ama de casa nacida en Polonia y emigrada a los 14. Las oportunidades de ascenso a la clase media que los Estados Unidos les brindó en un primer momento, se las arrebató en seco con el crac de 1929. Empobrecidos económicamente, sin embargo los Elion-Cohen tuvieron la lucidez de ver en el estudio la única vía para el acceso de sus hijos a una vida mejor. No obstante el interés de la familia por la formación, terminada la secundaria Gertrude no pudo ingresar en la universidad de Nueva York por motivos económicos, y lo hizo en 1933, gracias a sus excelentes calificaciones académicas, en una escuela pública de secretariado –para mujeres–, el *Hunter College*, donde logró el graduado en Química cuatro años más tarde.

Una de las características de la Gertrude B. Elion de juventud fue la voracidad lectora y la motivación intelectual por prácticamente cualquiera de las materias que tuvo la oportunidad de estudiar (“I loved to learn everything”). Así las cosas, la orientación elegida para sus estudios y posterior carrera científica emanaron de la infortunada experiencia –a los 15 años– de ver morir por cáncer de estómago a su abuelo materno, a quien se sentía entrañablemente unida (“whom I loved dearly”). De este modo anidó en ella la voluntad de utilizar el conocimiento químico en favor del avance de la Medicina y enfrentar el cruel designio de la enfermedad, particularmente el cáncer. “I watched him go over a period of months in a very painful way, and it suddenly occurred to me that what I needed to do was to become a scientist, and particularly a chemist, so that I was highly motivated to do something that might eventually lead to a cure for this terrible disease”, dejó escrito. Pese a esta expresiva confesión, parece que en la elección algo también tuvo que ver la lectura de una de sus obras favoritas, el inspirador y recomendable “Cazadores de microbios”, escrito en 1926 por el microbiólogo norteamericano Paul de Kruif (1890-1971).

Graduada en 1937 por el *Hunter College* y sin los recursos económicos para proseguir su formación en la prestigiosa Universidad de Nueva York, solicitó incorporarse como estudiante becada a 15 centros de estudios superiores de todo el estado, de los que nunca recibió respuesta por su condición de mujer. Con amargura lo recordaría posteriormente; “Nobody... took me seriously. They wondered why in the world I wanted to be a chemist when no women were doing that. The world was not waiting for me”. Esta necedad, que a otras –y otros– nos habría convencido de redirigir la vida profesional hacia derroteros más amigables, en ella no hizo mella sino que, al contrario, actuó de espoleta. Y así, determinada a seguir el curso de su vocación

científica, toda una rareza entre las mujeres de aquel periodo, e imposibilitada para acceder a un trabajo cualificado, consintió en trabajar desinteresadamente año y medio, y por un irrisorio sueldo más adelante (“the magnificent sum of \$20 a week”), como ayudante voluntaria en un laboratorio de química (de los puestos relevantes la mujer estaba excluida). La necesidad de financiarse su propia formación le obligó a simultanear esta primera actividad profesional con la docencia como suplente (“permanent substitute for \$7.5 a day”) en la *Duke University* y el *New York Hospital School of Nursing*, hasta que con sus pequeños ahorros pudo matricularse en un postgrado de la Universidad de Nueva York, en el otoño de 1939. Allí “I was the only female in my graduate chemistry class but no one seemed to mind, and I did not consider it at all strange”. Además, su estrechez económica le obligó nuevamente a simultanear una actividad laboral, esta vez como profesora sustituta en las escuelas de Nueva York (“teaching chemistry, physics and general science for two years”), con la investigación, que necesariamente realizaba por la noche y en fin de semana, hasta obtener en 1941 su Máster en Ciencias Químicas. Aquí se detiene la formación superior de Gertrude quien, por tanto, no llegó a doctorarse formalmente.

Los primeros intentos de colocación como investigadora titulada fueron infructuosos, y frustrantes (“I hadn’t aware that any doors were closed to me until I started knocking on them”), pero entretanto estalló la II Guerra Mundial y la escasez de varones en los puestos de trabajo facilitó el acceso a ellos de la mujer. Fue así como pudo al fin trabajar de química analítica de control de calidad en una empresa de alimentación (valorando la acidez de escabeches y el color de mayonesas) y en los laboratorios *Johnson&Johnson*, adquiriendo la familiaridad con el instrumental de laboratorio que tantos réditos comenzaría enseguida a producir. Pasando el tiempo “the work was so repetitive and I was no longer learning anything”, y otra vez retomó la búsqueda afanosa de una actividad que le acercase a la investigación, hasta que en 1944 quedó cautivada (“This sounded very exciting”) por un puesto de ayudante del doctor George Hitchings, en los *Burroughs Wellcome Research Laboratories* (actualmente parte del conglomerado *GlaxoSmithKline*), para estudiar las purinas y pirimidinas (“...which I must confess I’d never even heard of up to that point”). Bajo el lema de la empresa “Si alguien tiene una buena idea, encontrará total libertad para desarrollarla”, fue aquí donde pudo dar rienda libre a su espíritu de aventura científica y comenzar el periplo virtuoso que la auparía al cénit de la ciencia contemporánea. En esta ascensión, es justo señalarlo, mucho tuvo que ver su relación con Hitchings, que no pudo ser más empática (“My thirst for knowledge stood me in good stead in that laboratory, because Dr. Hitchings permitted me to learn as rapidly as I could and to take on more and more responsibility”), duradera (39 años de colaboración, llegando incluso a sucederle en la dirección del Departamento de Terapéutica Experimental tras su jubilación en 1969), fecunda (“I never felt constrained to remain strictly in chemistry, but was able to broaden my horizons”) y extraordinaria (“When we began to see the results of our efforts in the form of new drugs which filled real

medical needs and benefited patients in very visible ways, our feeling of reward was immeasurable”). La alianza Hitchings-Elion fue efectivamente potentísima y el puntal de las eminentes carreras de los dos, que no se entienden sin la colaboración franca de ambos; en palabras del propio Hitchings “el mejor día de mi trabajo fue aquél en que acepté como técnico a Elion”.

Elion y Hitchings concentraron su interés en caracterizar los cambios bioquímicos que apartan a las células humanas de la normofisiología a consecuencia de la transformación neoplásica y a las células bacterianas tras su infección por virus, con miras a obtener relaciones causa-efecto de las que extraer claves de guía para el desarrollo selectivo de moléculas eficaces contra procesos infecciosos o el cáncer. Este ingenioso modo de proceder se denomina desde entonces *diseño racional de fármacos* o síntesis dirigida de moléculas con estructuras definidas, y significó una auténtica revolución conceptual en el modo de desarrollar terapias farmacológicas porque, idealmente, actuando sobre dianas selectivas de importancia crítica conseguiría eliminar las células indeseadas (neoplásicas o de patógenos infecciosos) sin dañar el tejido sano circundante.

En los años 40, antes de que se dilucidara la estructura molecular del ADN, muy poco se conocía sobre la síntesis de los ácidos nucleicos, a excepción de que la purina actuaba como precursor de dos de sus bases constituyentes (adenina y guanina), y que su presencia en los medios de crecimiento era vital para el cultivo in vitro de bacterias, parásitos y líneas tumorales. La hipótesis procedimental de la que partió el tándem Elion-Hitchings fue sintetizar antagonistas de estos precursores esenciales, esto es, derivados estructurales de las bases purínicas (o alternativamente pirimidínicas) que, una vez incorporados a la maquinaria de síntesis de modelos microbianos (*Lactobacillus casei*), lograsen la inhibición replicativa y la consiguiente parálisis metabólica de las células en crecimiento para, seguidamente, tratar de escudriñar la bioquímica subyacente del proceso; etapa interceptada y modo de acción del fármaco. Este ángulo de ataque supuso un novedosísimo enfoque en la farmacología experimental, ya que 1) superaba el procedimiento clásico de cribado (ensayo-error) para la obtención de nuevas moléculas con potencial biológico (el ya aludido *diseño racional de fármacos*) y 2) aportaba una poderosa herramienta de bloqueo selectivo para la identificación de intermediarios de las rutas estranguladas cinéticamente, el cual, con la sagacidad debida, podía servir al propósito de elucidar los procesos unitarios operantes en las células, dando nacimiento a la archiconocida *teoría de los antimetabolitos*. Este camino no fue fácil de recorrer partiendo del muy escaso y fraccionado conocimiento que se tenía en la época de la bioquímica del metabolismo intermediario; “Each series of studies was like a mystery story in that we were constantly trying to deduce what the microbiological results meant, with little biochemical information to help us”. Sin embargo, la genial complicidad entre Elion y Hitchings supo advertir la fórmula de éxito: encontrar sinergias de actuación entre las poderosas herramientas de investigación química y biológica y ponerlas al

servicio de la complejidad de objetivos de la microbiología, la enzimología, la inmunología y la farmacología, aglutinando para ello en los *Burroughs Wellcome* un auténtico “research dream team” de más de 50 personas entre químicos, bioquímicos, virólogos y oncólogos. Este modelo de trabajo integrado y multidisciplinar (“This department was sometimes termed by some of my colleagues a mini-institute”) cimentó la estrategia actual de los grandes equipos para acometer proyectos de clínica traslacional o de ciencia de vanguardia. “We were exploring new frontiers” sentenciaba Elion, con el claro convencimiento de que el canon organizativo de la suya, y de cualquier otra gran iniciativa de investigación biológica, debería ser la suma del esfuerzo de muchos y la integración de las diferentes ópticas de cada uno porque, sólo así, “this made it possible to coordinate our work and cooperate in a manner that was extremely useful for development of new drugs”.

La metodología sistemática de diseño de drogas puesta a punto por Hitchings y Elion mostró toda su potencia a lo largo de la segunda mitad del siglo pasado; al inicio de la década de 1950, por ejemplo, habían testado en *L. casei* más de 100 nuevos compuestos, una formidable proeza en aquel tiempo, que permitió al equipo dar con una amplísima colección de fármacos –de la diaminopurina de 1948 hasta el acyclovir de 1977– para el combate de numerosas enfermedades y la mejora de la calidad de vida de los pacientes. Así, en 1948 Elion sintetizó el derivado diaminopurina, un análogo de la adenina capaz de detener el crecimiento de *L. casei* y con efecto antileucémico. Si bien el uso como quimioterápico quedó descartado a causa de sus intensos efectos secundarios, la continuación de esta línea de trabajo les sonrió tres años más tarde al obtener dos derivados purínicos azufrados, la 6-tioguanina y la 6-mercaptopurina. La última de ellas manifestó un interesante perfil farmacológico, pues aunaba potencial antineoplásico y escasa toxicidad para el receptor. Rápidamente testado, primero en ratas y después en cuatro niños con leucemia granulocítica crónica en el *Sloan Kettering Institute* de Nueva York, dio la sorpresa de lograr dos remisiones completas de la enfermedad. Este formidable hallazgo permitió prolongar el tiempo medio de vida de los enfermos por leucemia de los tres o cuatro meses a finales de la década de 1940 a la remisión total de uno de cada tres pacientes. La introducción de este fármaco representó tal éxito que la Agencia Americana del Medicamento (FDA) facultó su uso clínico en 1953, dos años después de su síntesis y tan sólo diez meses desde la fecha de inicio de las pruebas clínicas en humanos y siete de la comunicación pública de los resultados, un tiempo récord para los estándares actuales. Sin embargo, los pacientes no quedaban curados y Elion se propuso ir más allá probando nuevas alternativas de tratamiento. Se llegó así a la confección de cócteles de 6-tioguanina, 6-mercaptopurina y otras drogas, más eficaces y hoy convertidos en un estándar quimioterápico que logra la cura del 80% de los pacientes con algunas formas de leucemia.

Partiendo de estos mismos presupuestos teóricos, en 1950 sintetizaron el antimalárico pirimetamina (2.000 veces más tóxico

para el parásito que para las células del hospedador humano); en 1956 el bacteriostático trimetoprima, rápidamente seguido en 1957 por la azatioprina (*Imuran*), de una extraordinaria importancia médica por su actividad inmunosupresora, que permite el manejo clínico de procesos autoinmunes y de pacientes trasplantados; seis años después consiguieron el alopurinol, un bloqueante de la uricemia empleado en el tratamiento de la gota; en los 60 el equipo obtuvo sonados éxitos en el combate de procesos infecciosos gracias a la inhibición de la replicación bacteriana de la mano de fármacos como la trimetoprima, que se emplea frente a la septicemia y las infecciones bacterianas de las vías respiratorias y urinarias. Además, tras acceder a la jefatura del Dpto. de Terapéutica Experimental, Elion concentró su esfuerzo en la obtención de antivirales, logrando un éxito prominente en este ámbito en 1977 con el desarrollo del acyclovir (*Zovirax*), un antivírico con la capacidad de detener la replicación de los herpesvirus. Muchos bioquímicos, Hitchings entre ellos, desconfiaban de que pudieran descubrirse antiviricos selectivos y eficaces. Elion, por el contrario, estaba convencida de ello y fue su persistencia la que acabó demostrando errónea la percepción de Hitchings y de la mayoría de la profesión. Como más adelante ella misma reflexionó por escrito, el éxito del acyclovir despertó la atención de la industria farmacéutica y animó la búsqueda años más tarde de una respuesta farmacológica a la amenaza del virus de la inmunodeficiencia humana. Tanto es así que fueron científicos de *Burroughs Wellcome* formados por ella misma los que comenzaron en 1985 a trabajar con el 3'-azido-3'-desoxitimidina (azidotimidina o AZT), un quimioterápico en desuso del que tan solo dos años más tarde se lograría obtener el primer tratamiento antirretroviral contra el SIDA, un hito que sellaría definitivamente el destino de Elion hacia el olimpo de los Nobel. Nobel –de Fisiología y Medicina– que llegaría efectivamente pronto, en 1988, por el conjunto de extraordinarias contribuciones hechas al tratamiento con fármacos (la 6-mercaptopurina sigue considerándose hoy uno de los ejemplos clásicos de la farmacogenómica), y que compartió ex aequo con su viejo colega de casi 40 años, George H. Hitchings, y el británico Sir James Black.

Elion fue una de las seis únicas mujeres distinguidas con este premio a lo largo del siglo XX y una de los escasos galardonados carente del doctorado. De hecho, poco después de finalizar su Máster en 1941 se matriculó como alumna predoctoral en los cursos nocturnos del *Brooklyn Polytechnic Institute* (actualmente *Polytechnic Institute of New York University*), pero pronto debió abandonarlos al exigirsele completa dedicación al estudio y no estar dispuesta a renunciar a su incipiente carrera científica porque, en sus propias palabras, “It was exactly the kind of job I wanted”. Nunca en adelante mostró la voluntad de retomar la vía académica, pues su auténtica motivación siempre fue investigar y poner en marcha ideas propias, añadido al hecho de que el mismísimo Hitchings le persuadiera de no necesitar el doctorado para proseguir con el trabajo que tenían por delante. Aunque es opinable si este último habría asesorado en igual sentido a un varón con el empuje y ambición científica de Elion, lo cierto es que la

sucesión de éxitos con que finalmente jalonaría su trayectoria le valió ser distinguida con tres doctorados honoris causa (por las universidades George Washington, Brown y Michigan), lo que, unido a las 45 patentes en las que aparece su nombre, demuestra que la apuesta mereció de largo la pena; “I made what was then a critical decision in my life, to stay with my job and give up the pursuit of a doctorate. Years later... I decided that perhaps that decision had been the right one after all”.

Tan excepcional como lo anterior fue su distinción con la Medalla Garvan de la Sociedad Química Americana (1968), una de las escasísimas mujeres que la han recibido, así como su admisión en el *National Inventors Hall of Fame*, la primera mujer en conseguirlo (en 1991! Recibió, por lo demás, todo tipo de menciones honoríficas, como la Medalla Presidencial del Hunter College (1970), el Premio Judd del *Sloan Kettering Institute* (1983), el Premio Cain de la Sociedad Americana de Investigación del Cáncer (1984), el premio Ernst W. Bertner del *MD Anderson Cancer Center* y la Medalla de Honor de la Sociedad Americana contra el Cáncer (1990), la Medalla Nacional de la Ciencia (1991), el Premio Lemelson-MIT a toda una vida (1997), y un largo etcétera hasta completar veinticinco pomposos nombramientos, entre los que figura el de miembro honorario de la Academia Española de Dermatología y Venerología).

Elion murió a los ochenta y un años, el 21 de febrero de 1999, en Chapel Hill (Carolina del Norte) mientras daba su paseo diario. En su obra legó contribuciones trascendentales para el bienestar de la humanidad; en su biografía de lucha y superación, engarces para proyectar las capacidades de cada quien por encima de los que creemos nuestros límites o nuestras dificultades objetivas; en su proceder laborioso y humilde todo un magisterio de ética frente a la vanidad reinante; “Nobody would aim for a Nobel Prize because, if you didn’t get it, your whole life would be wasted. What we were aiming at was getting people well, and the satisfaction of that is much greater than any prize you can get”. En mi beneficio, como lección tomo de ella, de *Trudy*, su vocación de trabajo, inagotada hasta el final (de hecho, pocas personas habían advertido su retiro oficial ocho años después de Hitchings), su pasión por la ciencia, agrandada por el tiempo y la experiencia (“Over the years, my work became both my vocation and avocation”), su trabajo callado y solvente (desde el primero en 1939 hasta el último en 1998, dejó una obra escrita de 225 artículos de investigación). Es asimismo conmovedor el recuerdo de su amplia sonrisa y la afabilidad de carácter, que evocan unánimemente quienes la conocieron, y, en este sentido, encuentro inspirador su firme rechazo de la pompa y el engolamiento. Me resulta evocador también su apetito por cualquier disciplina del saber y de las artes, que en algo me reconcilia con mi propia dispersión; en particular, su adoración por

las óperas de Verdi, Puccini y Mozart (“Not because I am musically talented, but because I love to listen to it”). Elion recalcó con denuedo la trascendencia de que los médicos se implicasen en la investigación clínica, absolutamente desatendida entonces por los programadores académicos, porque “they don’t really learn how to approach a problem, and yet diagnosis is a problem”. Así que, durante el tiempo en que formó a dos generaciones de científicos clínicos, despachó complacida con los jóvenes estudiantes, a quienes recibía en su despacho y laboratorio y regalaba libros (algunos suyos, otros ajenos), buenos consejos (“Don’t be afraid of hard work. Nothing worthwhile comes easily”), los tesoros de su valiosa experiencia (“Don’t let others discourage you or tell you that you can’t do it. In my day I was told women didn’t go into chemistry. I saw no reason why we couldn’t”), y la prioridad de trato frente a la *nomenklatura* que su corazón dictaba. Ahora que lo pienso, de todo lo dicho, con esta dispensa hacia sus queridos pupilos me quedo.

Referencias

Las alusiones entrecomilladas proceden de los escritos de la misma Elion. A destacar:

Gertrude B. Elion – Biographical. Les Prix Nobel/Nobel Lectures/ The Nobel Prizes.

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1988/elion/autobiography/> (fecha de acceso: 08/09/2018).

El resto del texto se ha escrito en base a la información publicada, fundamentalmente en las siguientes fuentes:

Kent, R., Huber, B. Gertrude Belle Elion (1918-99). (1999). Pioneer of drug Discovery. *Nature* 398: 380.

All Nobel prizes in Physiology or Medicine. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1988.

<https://www.nobelprize.org/prizes/uncategorized/all-nobel-laureates-in-physiology-or-medicine/> (fecha de acceso: 06/09/2018).

Gertrude Elion (1918–1999). American Chemical Society.

<https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/women-scientists/gertrude-elion.html> (fecha de acceso: 08/09/2018).

Avery, M.E. Gertrude B. Elion 1918-1999. (2000). *Biographical Memoirs*. The National Academy Press, Washington, DC. 78: 17-29.

ANUARIO

Achegamento da Facultade de Bioloxía ao público en xeral

M^a Fuencisla Mariño

Vicedecana de Alumnado e Organización Académica

Como todos os cursos, ao longo do ano académico 2017-18, na Facultade de Bioloxía celebráronse diversas actividades, unhas no interior do propio centro e outras fora del. Xa que é importante que o público en xeral coñeza o que se fai na Facultade, tanto os membros do claustro de profesores como, especialmente, o Equipo Decanal fan todo o posible por divulgalas. E, de feito, ao longo do ano son bastantes os colexios e institutos que solicitan información sobre os estudos que se desenvolven na facultade. Neste curso pasado participaron un total de 210 alumnos, nas visitas realizadas aos colexios «Valverde Mayo» (Mos) e «Pintor Laxeiro» (Vigo), os institutos de educación secundaria «Castelao» (Vigo) e «Amor de Dios» (Vigo).

Un total de 439 alumnos, procedentes de 23 centros de ensino de toda a bisbarra visitaron as nosas instalacións: os colexios «Bouza Brey», «San José de la Guía», «El Pilar Maristas», «Divino Salvador», «San Miguel 2», «Santiago Apóstol» de Vigo; «Sagrado Corazón Jesús» de Pontevedra e «CEMAR International School» de Mondariz-Balneario e os IES «Santo Tomé de Freixeiro», «María Auxiliadora», «Politécnico», «Amor de Dios», «O Castro» e «A Guía» de Vigo; «Chapela» e «Pedro Floriani» de Redondela; «Rodeira» de Cangas; «Mos» de Mos; «As Barxas» e «A Paralaia» de Moaña; «Val do Tea» de Pontearreas; «Antón Alonso Ríos» de Tomiño e «Val Miñor» de Nigrán.

Entre as outras actividades extra-curriculares celebradas ao longo do curso, dáselle especial relevancia ás realizadas para o alumnado da Facultade, como a «Semana Cero», lles axuda a integrarse na dinámica do Centro cando comezan o curso os alumnos que se incorporan por primeira vez a el. Nela ofréceneselles unha conferencia inaugural científico divulgativa, titulada «Astrobioloxía: a vida ao límite», da que foi publicada no número anterior desta revista o resumo, presentada polo profesor de bioquímica, Emilio Gil Martín.

Por parte do Decano e o resto do Equipo informáselles tanto sobre as infraestruturas e normas da propia facultade (biblioteca, delegación de alumnos, funcionamento interno, etc.) como a titulación (materias de 1º curso, guías docentes, Plan de Acción Titorial, posibilidades de mobilidade tipo «Erasmus» ou «Séneca», plataformas de coordinación, etc.), é dicir, comunicáselles o imprescindible para saber desenvolverse na Facultade. Ademais, durante esa semana, o alumnado recibe charlas dos servizos de Deporte, da Biblioteca e da Unidade de Igualdade.

Ao longo do curso, dedicado especialmente ao alumnado que vai a graduarse inmediatamente, os de 4º de Grao, desenvólvense obradoiros «profesionalizantes» que lles poden axudar a enfrontarse co mundo laboral como: competencias chave para a busca de emprego, preparación dun «Curriculum Vitae», cartas de presentación e busca de emprego e saídas profesionais, expectativas de emprego.

Facilítaselles a realización dun curso, dirixido pola biblioteca, onde aprendan a resolver problemas referentes a consulta e citación bibliográfica, de especial interese en materias como o Traballo Fin de Grao.

Tamén se imparten charlas informativas sobre os másteres que se desenvolven na facultade, co fin de que os alumnos que finalizan o Grao de Bioloxía saiban con que posibilidades formativas contan na súa universidade e no resto de Galicia.

Neste curso desenvólvese unha xornada co-organizada polo COBGA, na que se trataron as actividades profesionais dos biólogos, que foi complementada por charlas nas que participaron varios titulados que intentaron explicarlles os alumnos as súas experiencias de traballo (montaxe dunha empresa, a carreira na ensinanza media, a labor investigadora e o traballo na empresa) co fin de aportar algunhas ideas de cara ao seu futuro profesional.

Desde hai varios anos dáselle especial importancia, por parte da Facultade de Bioloxía, á festividade do patrón, San Alberte Magno. Ao redor dela desenvólvense varias actividades culturais, que contribúen a que ademais de «pasar os alumnos pola universidade, sexa a universidade a que pase por eles».

Son clásicas a organización do concurso de Fotografía Biolóxica, xa na décimo cuarta edición, e o de Debuxo Científico, organizado por cuarta vez desde a Delegación de Alumnos «Lynn Margulis», a Exposición Micolóxica con cogomelos frescos, que cada ano realiza e explica o Grupo de Investigación MicoUVigo da Facultade na entrada da facultade e que se acompaña dunha conferencia da profesora Marisa Castro. Este ano dedicada ao «aproveitamento sustentable dos cogomelos» como axuda para evitar os incendios forestais en Galicia.

O broche de ouro pono na véspera do santo a conferencia impartida por algún ilustre invitado, externo á facultade. Este ano correspondeulle ao Dr. Ángel Carracedo que nos ilustrou sobre a

importancia da bioloxía nas actividades forenses, coa conferencia titulada «CSI made in Galicia». No fin deste acto realízase a entrega de premios dos concursos.

Por último, aínda que non menos importante, indicar que en xaneiro fomos a sede da «XIII Olimpíada Española de Biología - Fase Gallega», evento co-organizado pola Facultade de Bioloxía da Universidade de Vigo coa asociación da «Olimpiada Española de Biología» (OEB) e o Colexio Oficial de Biólogos de Galicia (COBGA).

Participaron 105 estudantes de segundo de Bacharelato, pertencentes a 31 centros de educación secundaria da Comunidade Autónoma Galega, dos cales 16 eran da provincia da Coruña (A Coruña, Ames, As Pontes, Boiro, Cambre, Culleredo, Ferrol, Melide,

Narón, Noia, Oleiros e Santiago de Compostela), 11 da de Pontevedra (Caldas de Reis, Cangas do Morrazo, Lalín, Pontearreas, Pontevedra, Valga, Vigo e Vilagarcía de Arousa), un da de Ourense (Ourense cidade) e tres da de Lugo (Lugo, Meira, Monforte), cun número máximo de catro (4) estudantes por centro educativo.

O certame consistiu na resolución dunha proba teórica tipo test e varias probas prácticas de laboratorio de diferentes ámbitos da Bioloxía, centrados na base molecular e fisicoquímica da vida. É a primeira vez que se celebran as probas prácticas na fase autonómica, polo que, para a súa preparación, foi necesaria a participación de profesores, investigadores e técnicos de laboratorio da Facultade, aos que desde aquí se lles agradece a súa desinteresada colaboración.

ANUARIO

V Exposición Micolóxica da Facultade de Bioloxía

Marisa Castro

Investigadora Principal do Laboratorio MicoUvigo

A exposición micolóxica comeza a ser unha actividade habitual na Facultade de Bioloxía, polo que persoas da cidade de Vigo xa suben ata o CUVI para vela. Celebrouse na semana do 6 ao 15 de novembro, na entrada do Edificio de Ciencias a «V Exposición Micolóxica», coincidindo coas celebracións do San Albeiro na Facultade de Bioloxía. A coordinación correspondeu á profesora Marisa Castro e foi imprescindible a colaboración dos membros do laboratorio MicoUvigo e da spin-off MycoGalicia-Plantae: Paula Caride, Andrés Cordeiro, Hugo Fernández-Ricón, Gabriel Pérez-Torrón e María Cabaleiro, así como alumnos do Grao de Bioloxía: Mauro Rivas e Eva López-Quiroga e egresados, como Alberto Castro, así como membros do Grupo Micolóxico Galego, como Óscar Requejo. Habituais todos na preparación desta actividade.



Figura 1. Vista parcial da exposición

O material exposto foi recollido polos citados colaboradores en diversos lugares de Galicia. Este ano de seca extrema vímonos obrigados a percorrer Galicia enteira de norte a sur e de este a oeste para conseguir as case 90 especies que estiveron nas mesas. Algunha das mesas con afiloforais e gasteromicetos permaneceu exposta durante a semana seguinte.

Os cogomelos recollidos foron identificados, durante a mañá do luns, no Laboratorio de Micoloxía e, posteriormente, colocados sobre troncos de piñeiro para conseguir unha mellor conservación dos exemplares durante as dúas semanas que durou. Como en anos

anteriores, as etiquetas ademais dos nomes científico e popular incluían información sobre a comestibilidade das especies expostas.



Figura 2. Cepa de piñeiro con *Chlorophyllum venenatum* (= *Macrolepiota venenata*) presente na exposición

Ademais do material fresco, había varios cartéis didácticos relacionados coas normas de apanha e a lexislación vixente en Galicia, que como no ano anterior, foron aportados pola empresa MycoGalicia-Plantae, e unha colección de láminas do ilustrador Luis Davila, relacionadas coa micoloxía, préstamo habitual da Asociación de Veciños do Casco Vello de Vigo.

As mesas con material fresco complementábanse coas representacións deshidratadas e/ou liofilizadas, así como as maquetas en resina dispostas, durante todo o ano, nas vitrinas do primeiro andar do Bloque A (corredor de Botánica e Fisioloxía Vexetal), onde tamén figura un cartel de «Cogomelos comestibles e tóxicos semellantes», pintado pola bióloga Alexandra Skinner, alumna egresada desta Facultade.

Nun ano de incendios como foi o 2017, para axudar a sensibilizar aos visitantes co gravísimo problema desta praga e coas consecuencias dos ocorridos tres semanas antes na nosa bisbarra, representouse un piñeiral queimado, acompañado por cartéis explicativos sobre os lumes e os seus efectos (figura 3).



Figura 3. Representación dunha zona queimada cos carteis explicativos ao fondo

O evento tivo gran éxito entre o alumnado e profesorado de Ciencias, así como outros membros da comunidade universitaria pertencentes a diversas facultades. Tamén foi utilizada como clase práctica para os alumnos do Programa Universitario de Maiores e os do obradoiro de Extensión Universitaria «Obradoiro práctico para a identificación de cogomelos», que conseguiron dar nome aos espécimes coa axuda das claves dicotómicas que usaban no obradoiro. Ademais, os grupos de visitantes que o solicitaron foron guiados por membros do laboratorio MicoUvigo. Clase práctica sen moverse da facultade!

ANUARIO

La Biología es nuestra vida y también nuestro futuro

Cristina Arias

Profesora de Parasitología

Hola a todos, bienvenidos a nuestra Facultad de Biología.

LA BIOLOGÍA, VUESTRA VIDA Y TAMBIÉN VUESTRO FUTURO, no es el título que escogí para esta Conferencia de Apertura de Curso, es el principio de una pequeña introducción porque LA BIOLOGÍA ES NUESTRA VIDA Y TAMBIÉN NUESTRO FUTURO.

¿Qué es la Biología? Es una pregunta a la que, de una forma más o menos aproximada, podemos contestar incluso antes de empezar a estudiar la asignatura. La palabra proviene de dos vocablos griegos: Bios (vida) y logos (estudio). Por lo tanto, la palabra en sí lo dice todo: Estudio de la vida.

En un principio se establecieron dos tipos de reinos: el animal y el vegetal. Esta idea se mantuvo por muchos años como la más aceptada por los científicos. Hoy en día, se consideran más de 20 reinos distintos. La BIOLOGÍA se subdivide en diversos campos de estudio. Cada una se ha ido especializando en distintos ámbitos. Áreas de conocimiento. Es fundamental el estudio de la biología para comprender lo que somos y cómo llegamos hasta este nivel evolutivo.

De forma generalizada, cuando hablamos de Biología, siempre nos olvidamos de unos seres vivos excepcionales: LOS PARÁSITOS. Ellos son: los manipuladores de la vida y este sí es el título real de la conferencia.

¿Qué son los parásitos? y ¿Qué es el parasitismo?

Los parásitos son seres vivos que utilizan otros organismos, los hospedadores, como cobijo y fuente de alimento. Esta relación ecológica en la que el parásito vive a expensas de su hospedador causándole algún tipo de perjuicio se conoce con el nombre de parasitismo y su éxito evolutivo es ciertamente sorprendente. Más de la mitad de las plantas y animales que se conocen en la actualidad son parásitos durante algún momento de su vida, de tal manera que gran parte de los seres vivos que no son parásitos sirven de hospedadores a estos organismos. De hecho, es difícil encontrar una sola especie de vida libre en la que no se haya encontrado como mínimo una especie parásita.

Los parásitos son tan antiguos como la historia de sus hospedadores. Gracias a la Paleopatología, que se encarga del estudio de las enfermedades que el hombre antiguo ha sufrido a lo largo de la historia, sabemos que los parásitos, eran bastante

frecuentes en los cuerpos de la población egipcia desde la más tierna edad.

La Esquistosomosis, una de las enfermedades parasitarias más antiguas, era tan frecuente que se creía que los varones tenían también un periodo menstrual como las mujeres. Hoy en día continúa siendo la causante de tremendos estragos entre los egipcios. Gracias al estudio de diversas momias, se puede demostrar la antigüedad de enfermedades parasitarias como la Estrongiloidosis, la Dracunculosis, las Filariosis y la Triquinelosis, entre otras.

En todas las actividades humanas han influido, influyen e influirán, los parásitos.

La existencia de los parásitos y del parasitismo influyó de forma importante en las grandes obras de la Arquitectura y de la Ingeniería. Las pirámides de Egipto, El Canal de Suez y el Canal de Panamá, tardaron muchos más años en construirse por las enormes pérdidas humanas asociadas a la Esquistosomosis, a la Malaria y a otros parasitismos.

Los conquistadores: Alejandro Magno, Genghis Kan y Cristóbal Colón, entre otros, vieron cómo se diezmaron sus hombres por culpa de las infecciones e infestaciones parasitarias. Ellos mismos sufrieron la Malaria y tanto Alejandro Magno como Genghis Kan, se supone que murieron de ella.

Los hallazgos científicos que hizo Charles Darwin, se deben a las investigaciones que llevó a cabo al bordo de un viaje de cinco años a bordo del bergantín *Beagle*. (1831-1836)

En su periplo visitó varios países de Sudamérica, recogiendo datos de un gran número de especies animales, que le llevaron a avanzar en su teoría sobre la selección natural.

Sin embargo, esta aventura le pasó grave factura, ya que a la vuelta comenzó a sufrir una serie de fiebres y problemas estomacales que le acompañaron durante prácticamente el resto de su vida. Era el Mal de Chagas, producido por un protozoo que se transmite por las heces de una chinche llamada vinchuca o benchuca. En sus notas sobre el viaje (25 de marzo de 1835) escribe: "Durante la noche hube de sostener una lucha, y no es una exageración, contra una benchuca especie de Reduvius, la gran chinche negra de las pampas. Qué asco no experimentara uno cuando siente que le recorre el cuerpo un insecto blando, que tiene por lo menos una

pulgada de largo?... Su picadura no produce ningún dolor, y es curioso ver cómo se va hinchando su cuerpo; de plano que es, en menos de diez minutos se convierte en una bola."

Los parásitos fueron, y son hoy en día, un problema importante durante las guerras. Los piojos jugaron un papel esencial en la retirada de las tropas de Napoleón durante su incursión en Rusia en 1812. Investigadores de *L'Université de la Méditerranée* en Marsella, mediante el estudio de la pulpa extraída de los dientes de los soldados que perdieron la vida durante la campaña, encontraron que algunos tipos de tifus y fiebre de trincheras, transmitidas por piojos, eran comunes dentro del ejército francés. Durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el Alto Mando del ejército de Estados Unidos programó la invasión de Italia por el sur, se olvidó que Italia era por entonces, al igual que España, zona endémica de Malaria. En los primeros contingentes de tropas, las muertes por Malaria fueron superiores a las muertes en combate. Rápidamente se tomaron las medidas adecuadas y se realizaron diversas campañas informativas. Un caso similar ocurrió al comienzo de la guerra de Irak con la Leishmaniosis, ya que Irak es una zona endémica de ésta enfermedad.

En las obras literarias, son muchos los escritores que hacen referencia a distintas enfermedades parasitarias. Las más citadas son la malaria y los piojos. Puedo decirle sin temor a equivocarme, que toda la novela picaresca está llena de personajes parasitados.

También, a lo largo de la historia de la pintura, distintos autores, reflejan el mundo de los parásitos y del parasitismo. Es curioso el caso de Alberto Durero. Contrajo el paludismo durante un viaje de estudios por los Países Bajos hacia 1520. Dibujó un autorretrato y se lo envió a su médico a fin de facilitarle el diagnóstico.

La importancia de los parásitos también está reflejada en la filatelia. Casi todos los sellos hacen referencia a la malaria

De forma no muy ortodoxa se han utilizado los parásitos, en concreto una especie de Cestodo humano, para controlar el peso corporal. Así se comercializó la fase larvaria de *Tenia*, que es un quiste. Este quiste tiene en su interior un *escolex*, que es la cabeza de la *Tenia*. Al llegar al intestino sale el *escolex*, se adhiere a la pared intestinal y como tiene una gran capacidad de regeneración, en un mes crece para formar todo el cuerpo del parásito (hasta 25 metros). El Cestodo que es muy voraz, se alimenta e impide que el hospedador engorde. Es "*vox populi*", que algunas estrellas de Hollywood y modelos utilizaron este método, para mantener un cuerpo esbelto.

¿Qué estudia la Parasitología?

La Parasitología se ocupa del estudio del parasitismo, y por tanto, del conocimiento de los parásitos, de las complejas relaciones que

se dan entre estos organismos y sus hospedadores y de los factores ambientales que influyen sobre cada una de estas relaciones.

Aunque todos los virus y muchas bacterias y hongos son verdaderos parásitos, a lo largo de la historia, la Parasitología se ha centrado principalmente en el estudio de los animales unicelulares (protozoos) y pluricelulares (metazoos) que se han adaptado a esta forma de vida.

Los Parásitos presentan distintos tipos de adaptaciones para adherirse al hospedador: discos adhesivos, ventosas, ganchos, botrios, dientes, discos o placas cortantes.

Algunos endoparásitos son intracelulares, por lo que deben desarrollar estructuras para penetrar en la célula hospedadora. En este caso los parásitos se ven obligados, no solo a evitar la respuesta inmune del hospedador, sino también los sistemas de defensa intracelulares.

La Apoptosis o muerte celular programada sirve tanto para eliminar células dañadas como células infectadas. Debido a esto, los parásitos intracelulares han evolucionado para poder manipular este mecanismo de defensa: lo inhiben para poder sobrevivir y disponer de más tiempo para reproducirse y lo activan cuando están preparados para liberarse o para eliminar atacantes, entre otros beneficios. Cuanto más se estudian los parásitos intracelulares más sorpresas nos podemos llevar, hasta que finalmente uno acaba fascinado y lleno de admiración por una maquinaria biológica, el parásito, capaz de llevar a cabo las más complejas y extrañas funciones para alterar la Apoptosis de la célula hospedadora

Mención especial de las Zoonosis. Las zoonosis son infecciones o enfermedades infecciosas transmisibles, en condiciones naturales, entre los animales vertebrados y el hombre.

El estudio de estas enfermedades se remonta a los orígenes de nuestra civilización. El mismo Hipócrates (s.V a.C.) tuvo sus principales fuentes de estudio en los animales y en el campo de las zoonosis. A él se debe la primera sospecha que relaciona los quistes hidatídicos observados en el hígado de los animales y los procesos de idéntica similitud observados en el hombre.

Los animales domésticos desempeñan una función fundamental en el mantenimiento y en la multiplicación del agente infeccioso en la naturaleza, así como en la transmisión de la infección al ser humano y, en ocasiones, a otros animales. Las zoonosis son cada vez más importantes, pues la mayoría de las enfermedades emergentes son de origen animal.

La mayoría de las parasitosis son más frecuentes en climas cálidos, en países del Tercer Mundo, lugares en donde el hombre no ha desarrollado medidas higiénico-sanitarias adecuadas. Según los datos de la Organización Mundial de la Salud, OMS, más de 2 mil millones de personas en todo el mundo, principalmente niños y mujeres embarazadas, están infectados por parásitos intestinales.

La OMS también estableció que, dado que los parasitismos son patologías con alto componente social, podrían ser controladas, pero difícilmente eliminadas.

Las migraciones de las poblaciones humanas han contribuido y siguen contribuyendo a la dispersión de los parásitos por todo el mundo. Los parásitos condicionan nuestros viajes.

“Viajar es útil, hace trabajar a la imaginación”, pero los viajes también contribuyen a la dispersión de los parásitos. Se calcula que varias decenas de millones de personas, procedentes de países industrializados, se desplazan cada año a zonas del Tercer Mundo y se exponen a los riesgos sanitarios aún presentes en esas áreas. Como consecuencia, son también muy numerosas las personas que, durante el viaje o después de él, se ven afectadas por enfermedades inexistentes en sus países de origen. Este grupo de procesos pasa de la Patología Exótica a la Patología Importada, cuya frecuencia real es importante conocer, (“Las enfermedades también viajan”). A esto hay que unir la importación clandestina de animales exóticos, especies protegidas, seguramente parasitadas, que contribuyen a la propagación de parásitos no frecuentes en nuestro medio.

¿Cuándo programamos un viaje, nos preocupamos de saber qué enfermedades existen en la zona, sobre todo si son endémicas? ¿Conocemos al menos cuál es el transmisor de la malaria? ¿Sabemos la distribución geográfica? ¿Sabemos que pasa en España con la malaria...? ¿Conocemos el problema de las garrapatas, parásitos que además transmiten otros parásitos? ¿Cuándo hacemos senderismo, sabemos cómo protegernos de la picadura de la garrapata? ¿Sabemos que el tejido vaquero es perfecto para que se adhieran las garrapatas?

La última investigación europea, divulgada por la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas demuestra que los españoles y los griegos son los más “inconscientes” y “los peor aconsejados” de la Unión Europea a la hora de cumplir con medidas sanitarias de prevención, antes de viajar a países tropicales. Según esta investigación, “sólo entorno al 20% de los españoles que viajan a zonas de alto riesgo sanitario va lo suficientemente preparado”.

Las enfermedades no respetan fronteras. Parasitosis como el Paludismo, la Esquistosomosis* y la Ancilostomosis* están pasando a ser consideradas en muchos países desarrollados, algo más que enfermedades exóticas, como lo demuestra el hecho de que en España, el Ministerio de Sanidad* haya creado el Centro Nacional de Medicina Tropical. Además, en diversos hospitales y universidades, se han creado unidades de Medicina Tropical e Institutos Universitarios de Medicina Tropical, respectivamente.

Al margen de su trascendencia para la salud pública, el conocimiento de los parásitos y enfermedades parasitarias que afectan a los animales salvajes también tiene gran interés.

En primer lugar, como causa de patología y como fuente potencial de impacto negativo sobre las poblaciones naturales de sus hospedadores, los parásitos deberían ser considerados como un factor clave en cualquier plan de conservación de especies amenazadas y en peligro de extinción y en estrategias de repoblación de espacios naturales con nuevas especies.

En segundo lugar, el creciente interés del ser humano por la biodiversidad y su conservación no debería dejar de lado a las especies parásitas, que son mayoritarias en nuestro planeta. Nos preguntábamos hasta hace poco tiempo: ¿son los parásitos componentes ocultos de la biodiversidad? Hoy en día no cabe la menor duda. En algunas ocasiones suponen una presión selectiva tan importante que los hospedadores de zonas endémicas fijan en su genotipo determinados alelos que confieren resistencia total o parcial a la infección.

El control mental no es una práctica exclusiva en las relaciones intraespecíficas de los seres humanos, sino que fue inaugurada hace millones de años, por los parásitos

Así, las larvas de la especie parásita *Leucochloridium paradoxum*, modifican el aspecto externo (coloración) y los hábitos de su hospedador, el caracol, para que pueda ser más fácilmente depredado por determinado tipo de aves, aves que son los hospedadores definitivos del parásito.

El Nematodo *Myrmeconema neotropicum* infecta a hormigas tropicales de la especie *Cephalotes atratus*. Estas hormigas son completamente negras, pero al estar infectadas con el parásito, su abdomen se vuelve de color rojizo. Este cambio cromático permite a la hormiga mimetizarse con los frutos de ciertos árboles. Así pues, el objetivo del parásito es que el hospedador sea reconocido por pájaros frugívoros y se lo coman. Lo interesante de este parásito es que también es capaz de modificar la conducta de la hormiga y obligarla a subir a lugares más despejados y desprotegidos para ser localizada por los depredadores.

El Trematodo Digenea, *Euhaplorchiss californiensis*, como todos los parásitos que tienen su última fase larvaria en peces, modifica el comportamiento de estos hospedadores. Los peces parasitados suben a la superficie del agua y nadan con movimientos bruscos “chapoteando el agua” y así son más visibles a sus depredadores las aves piscívoras en las que el parásito cierra su ciclo biológico transformándose en adulto.

Beethoven, Darwin, Enrique VIII, Einstein y otros muchos, sufrieron un cambio radical en su personalidad. La ciencia ha encontrado la respuesta muchos años después, ya que muchos investigadores han utilizado sus conocimientos científicos para descifrar las condiciones médicas que llevaron a grandes personajes históricos a cambiar su personalidad, terminando incluso por causarles la muerte.

Estos diagnósticos *a posteriori* son un claro ejemplo del evidente avance que ha experimentado la medicina en los últimos años y, además, también demuestran que la convergencia entre ciencia e historia es una sabia decisión, pues ambas disciplinas pueden colaborar entre sí, dando lugar a grandes resultados como éstos.

El caso más interesante de manipulación mental es el producido por el parásito *Toxoplasma gondii* cuando hay infección cerebral. En los animales, la infección por *Toxoplasma gondii* altera el comportamiento y la función de los neurotransmisores. (GABA). Así, un ratón con toxoplasmosis cerebral, pierde el olfato y no reconoce la presencia de un gato. De esta manera el gato se come al ratón y el parásito, termina su ciclo biológico.

En los humanos, la infección aguda por *Toxoplasma gondii*, puede producir síntomas psicóticos similares a los mostrados por las personas con esquizofrenia. Algunos medicamentos utilizados para tratar la esquizofrenia, inhiben la replicación del parásito en cultivo celular.

Las enfermedades psiquiátricas y las infecciones por *Toxoplasma gondii* también tienen una relación importante en las personas inmunocomprometidas con SIDA, en las que las infecciones latentes se han vuelto a activar (60%).

Establecer el papel de *Toxoplasma gondii* en la etiopatogenia de la esquizofrenia y otros trastornos psicóticos, podría conducir a nuevos medicamentos para su prevención y tratamiento.

Teniendo en cuenta todos estos conocimientos podemos asociar la Parasitología al Bioterrorismo.

¿Qué es el Bioterrorismo?

El Bioterrorismo es la amenaza o uso de agentes biológicos por individuos o grupos de individuos motivados por objetivos políticos, religiosos, ecológicos o de otras ideologías. Veamos un caso práctico: Sabemos que la Triquinosis es una enfermedad zoonótica de Declaración Obligatoria, producida por *Trichinella sp.* Supongamos una granja de cerdos con un total de 70 animales. Infectamos con el parásito a los 70 animales, con lo cual al poco tiempo toda la carne está parasitada. Supongamos que hacemos una matanza casera, sin supervisión del veterinario. Las paletas y los jamones de los cerdos, al igual que los chorizos, se comen crudos. Pensemos sólo en las paletas y los jamones. De cada cerdo tenemos $2+2=4$; teniendo en cuenta que tenemos 70 cerdos, $4 \times 70 = 280$ piezas (140 paletas y 140 jamones). Si regalamos cada pieza a una familia, serán 280 familias las que van a infectarse. Supongamos por último una media de 4 personas por familia, al final nos encontraremos con que hemos infectado a un total de 1.120 personas (280×4). Asusta pensarlo.

Con este caso práctico finalizo esta conferencia con la que he pretendido llevaros a las fronteras del conocimiento en el mundo de los parásitos, la parasitología y las interacciones parásito-hospedador con la intención, no de convenceros de que ya lo sabemos todo, que no es así, sino de presentar la ciencia como lo que es, una búsqueda continua de la verdad a través de los hechos. Y como es una conferencia, con un lenguaje cercano mostrando la pasión por explicaros un mundo que creo conocer un poco.

ANUARIO

Conferencia de San Alberte 2017: CSI made in Galicia

Jesús Míguez Miramontes

Decano da Facultade de Bioloxía

Os actos conmemorativos do San Alberte 2017 incluíron no seu programa a conferencia titulada “CSI made in Galicia” impartida polo catedrático da Universidade de Santiago de Compostela, Angel Carracedo Álvarez, considerado como unha das persoas máis relevantes da ciencia forense a nivel nacional e internacional. Na súa charla de case unha hora de duración, o director do Instituto de Medicina Legal da USC, da Fundación Pública Galega de Medicina Xenómica e do Centro Nacional de Genotipado, fixo un breve repaso á evolución da xenética e destacou a revolución que supuxo a aplicación da xenómica na medicina forense e, máis concretamente, para a resolución de casos xudiciais que doutra forma quedarían sen resolver.



Figura 1. O profesor Carracedo nun momento da conferencia

A tecnoloxía actual permite obter un perfil de ADN a partir de calquera mostra biolóxica, por pequena que sexa, incluso unha mostra dun simple contacto, o que sen dúbida cambia a maneira de investigar a nivel forense e xudicial. Con todo, o profesor Carracedo precisou que, pese ao título do relatorio, a vida real non é CSI e non se poden lograr resultados nunha hora, como moita xente pensa a teor do que se mostra na televisión e outros medios. Os ensaios requiren un tempo e ademais unha gran meticulosidade por parte do persoal técnico a fin de non mesturar mostras de maneira involuntaria que puidesen dar lugar a falsos positivos ou imputacións erróneas dalgún delito polo simple feito dun erro analítico, o que tamén foi motivo de aclaración por parte do profesor, ofrecendo exemplos concretos de casos en cuxa resolución participou de forma moi activa o seu grupo de investigación.

No seu relatorio, o profesor Carracedo destacou o labor punteiro do centro forense que dirixe, coa maior produción científica mundial nos últimos anos e superando a varios dos centros estranxeiros de maior prestixio. A maioría dos casos famosos que afectan o estado español e países da contorna, se son complicados, acaban no laboratorio do Dr. Carracedo. Neste sentido, o profesor para expuxo en detalle numerosos exemplos de casos concretos nos que o seu instituto colaborou, incluíndo o crime das nenas de Alcàsser ou no 11-M. A nivel internacional, o instituto colaborou na análise de casos de gran transcendencia social, como a operación Minstead no Reino Unido, que permitiu condenar a un individuo por numerosas agresións sexuais sendo o caso de violador en serie máis importante de Europa. Tamén traballou con mostras do 11-S, indicando o profesor que moitas delas chegaron moi degradadas pero que igualmente puideron ser obxecto de análise, ou a identificación das vítimas do tsunami asiático en 2004.

Toda a especie humana é moi parecida entre si, pero as poucas diferenzas que existen son maiores entre individuos que entre poboacións. Con todo, os avances no coñecemento de caracteres xenéticos fixados a nivel poboacional permiten a súa aplicación en investigación forense, de forma que a partir de pequenas mostras de ADN dun individuo pode ser posible determinar a súa procedencia xeográfica, o que xa permitiu algunha ocasión ao laboratorio do Dr. Carracedo achegar datos identificativos sobre persoas implicadas en crimes de gran relevancia social. Sobre os retos de futuro para a medicina forense, queda un mundo de cousas por facer, como mellorar o coñecemento da orixe xeográfica ou os trazos físicos das persoas a través do seu ADN, entre outras cuestións, indicou o profesor na súa charla.

Ademais da investigación forense, a xenómica ten unha crecente aplicación noutras disciplinas como son as probas de paternidade e de parentesco, mesmo de persoas falecidas das que existe un interese por demostrar vínculos xenéticos para poder vincularse a posibles herdanzas. Tamén o consello xenético empézase a ver como unha ferramenta de enorme importancia para previr enfermidades hereditarias ou alteracións cuxo orixe teñen unha base xenética.

Un aspecto importante abordado na charla e sobre todo por mor de preguntas dos asistentes, estivo relacionado coas controversias éticas derivadas da práctica xenética. Neste sentido o profesor fixo fincapé na importancia de poder dispoñer de contra-análises realizadas ás mostras dos casos forenses e xudiciais por parte

doutros laboratorios, a fin de contrastar resultados iniciais. En definitiva, asegurar resultados analíticos e a pericia xudicial é unha parte indispensable do proceso de investigación forense e garante a súa rigorosidade analítica e ética.

Por último e en relación co debate mantido cos asistentes, o profesor Carracedo fixo fincapé no duro camiño profesional dos científicos, mostrándose orgulloso de dirixir un grupo de máis de cen persoas que integra médicos, biólogos e químicos, que se converteu en líder mundial da xenética forense e con importancia crecente en xenómica comparada e de poboacións. O baixo investimento que se fai en investigación no noso país súplese con novo talento, indicou o profesor, aínda que é necesario facer unha aposta máis decidida en recursos de investigación que permita

consolidar o camiño iniciado por numerosos investigadores de gran valía a nivel nacional e internacional.

En definitiva, a presenza do profesor Carracedo na nosa Facultade foi un evento de extraordinaria relevancia que serviu para realzar o labor dos científicos e a proxección social da xenómica aplicada. Ademais doutros recoñecementos, o profesor Carracedo ten no seu haber a medalla Castelao (2006), a medalla de Galicia (2011) e máis recentemente foi galardoado co Premio Nacional de Xenética (2015) na súa modalidade de xenética aplicada. Toda unha honra para a Facultade de Bioloxía poder gozar da charla desta extraordinaria persoa, referente científico a nivel galego, pero tamén a nivel nacional e internacional.

ANUARIO

Incendios forestais: a «marea negra» dos montes galegos

Serafín González Prieto

Doutor en Ciencias Biolóxicas, Investigador Científico do CSIC, Presidente da SGHN

As cifras son máis que esclarecedoras: Galicia representa menos do 6% da superficie de España, pero na nosa comunidade prodúcese o 70% do total de incendios e arde un 56% da superficie total queimada en España. O réxime de incendios en Galicia (número, superficie queimada e recorrencia en determinadas zonas) NON é natural.

De feito, xunto co norte e centro de Portugal, Galicia é a única rexión atlántica europea na que os incendios forestais son un problema. Isto non se debe a que nos montes galegos haxa moita «maleza», «combustible» ou biomasa, senón á actividade humana que provoca deliberadamente o 90% dos incendios de Galicia, o cal non quere dicir que o 90% dos galegos sexan incendiarios (realmente o son 1-2 de cada mil). Tampouco implica que haxa unha «organización terrorista», aínda que algúns tentan unha e outra vez escorrer as súas responsabilidades políticas ou profesionais detrás desa auténtica «cortina de fume» da que non hai nin unha soa evidencia, dende que en 1990 Romay Becaría impulsase con forza a teoría da conspiración.

Os datos da fiscalía apuntan á existencia de catro perfís de incendiario (pirómano, agricultor-gandeiro, imprudente colaborador e imprudente non colaborador), mentres que os datos do Ministerio de Agricultura e Pesca, Alimentación e Medio Ambiente para o período 2001-2014 revelan que dous de cada tres incendios en Galicia con causas coñecidas tiveron a súa orixe na actividade agrícola (52,3%) ou gandeira (13,4%).

A información dispoñible revela que a maior actividade incendiaria ten lugar en zonas de montaña, con poboación escasa e avellentada, nomeadamente na provincia de Ourense, o sur de Lugo e leste de Pontevedra.

Os lumes forestais son eventos perigosos para a vida humana, con polo menos 30 persoas falecidas en Galicia nos últimos 40 anos. As taxas de mortalidade «en terra» (é dicir, excluídos os pilotos dos medios aéreos empregados na extinción) mantivéronse sensiblemente constantes nas provincias da Coruña, Lugo e Ourense, pero no período 2001-2017 a mortalidade en Pontevedra multiplicouse por seis respecto a do período 1984-2000. Corrixida tendo en conta as respectivas poboacións, agora a mortalidade en Pontevedra duplica á de Ourense (a provincia que máis arde de España) e cuadriplica a de Lugo. Como explicación destes resultados apúntase a carencia de planificación territorial que levou ao crecemento de plantacións de eucaliptos preto dos núcleos habitados e á proliferación de vivendas preto dos eucaliptais durante a burbulla inmobiliaria pois, malia que calquera árbore pode arder, en condicións semellantes de manexo silvícola e

comparado cunha carballeira, a propagación do lume é un 20% máis rápida nun piñeiral e un 50% máis rápida nun eucaliptal.

Ademais de vapor de auga, a combustión completa de material vexetal libera principalmente CO₂, contribuíndo así ao «efecto invernadoiro» que en Galicia previsiblemente diminuírá as precipitacións e aumentará as temperaturas, facilitando e agravando os incendios forestais nun círculo vicioso. Pero unha boa parte do material vexetal que se queima nun incendio sofre unha combustión incompleta, liberando así grandes cantidades de monóxido de carbono, partículas, óxidos de nitróxeno e xofre e multitude de compostos orgánicos, incluíndo diversos produtos tóxicos, bioacumulables, carcinóxénicos e/ou mutaxénicos, que afectan tanto aos equipos de extinción como a poboación da contorna do lume.

Disipado o fume, ademais das recorrentes liortas políticas con acusacións cruzadas e papeis intercambiados segundo quen estea no goberno e na oposición, o primeiro que se ve xeralmente é unha paisaxe heteroxénea con distintas afectacións da vexetación e dos solos, o cal deberá terse en conta nas actuacións post-incendio. Cunha pouca atención, pódense ver tamén as outras vítimas dos lumes: os animais mortos, dende pequenos invertebrados ata vacas ou cabalos. Domésticos ou silvestres, de especies comúns ou en perigo de extinción, a meirande parte da fauna é incapaz de fuxir do fume e o lume, e morre irremediamente. Xunto cos mamíferos de maior talla, as aves son as que teñen maiores probabilidades de salvarse, pero aínda así as comunidades de aves tardan xeralmente entre 10 e 20 anos en recuperarse.

Os incendios causan tamén danos, mesmo irreparables, sobre o patrimonio cultural, como tristemente puxo de manifesto a recente vaga de lumes cos petróglifos de Pazos de Borbén ou o lume de Cualedro de 2015 sobre o castro de Lucenza.

Dende hai case trinta anos, a estratexia contra-incendio en Galicia tense centrado na extinción, que consume cantidades cada vez maiores: descontada a inflación, hoxe gástase un 50% na extinción que en 1990. Como en calquera sector con abundantes cartos públicos, a sombra da corrupción e o tráfico de influencias ao redor da «economía do lume» está sendo agora investigada xudicialmente.

Os incendios forestais impactan gravemente no recurso auga, tanto en cantidade como en calidade. Un solo natural funciona como unha esponxa, retendo parte da auga de chuva que despois libera progresivamente. Nun solo queimado, a miúdo hidrófobo, hai unha maior proporción da auga de chuva que escorra directamente, aumentando os caudais punta nos ríos e agravando as enchentes

nas zonas inundables augas abaixo. Ademais, nun solo queimado a capacidade de almacenamento de auga pode reducirse en máis dun 60%; iso significa que por cada hectárea queimada pérdese a capacidade de almacenar a auga que consumirían catro persoas durante un ano. Nun novo círculo vicioso, un ecosistema que sufriu un lume estará máis seco polo que será máis susceptible a novos incendios forestais, aínda máis severos.

Dependendo da severidade do lume, a topografía e a meteoroloxía posterior, nos solos queimados poden agravarse moito os fenómenos erosivos, especialmente graves pois o solo considérase un recurso non renovable a escala humana xa que 1 cm de solo tarda en formarse entre 100 e 200 anos.

As cinzas e os sedimentos erosionados - a parte máis fértil dos solos - deposítanse logo en terreos ladeira abaixo, en gabias de pistas e estradas, ou son arrastrados ata os ríos, encoros, zonas húmidas, praias e rías. Cargados de nutrientes esenciais, pero tamén de metais pesados e compostos orgánicos parcialmente queimados (nomeadamente hidrocarburos aromáticos policíclicos), a «marea negra» de cinzas e sedimentos pode comprometer seriamente a potabilidade das augas, a vida dos organismos acuáticos e a viabilidade da fauna que deles se alimenta. Entre dita fauna inclúense dende especies de aves ameazadas, como a pílara das dunas, ata a especie humana.

As áreas queimadas son, por outra parte, un terreo moi perturbado e máis susceptible por tanto á entrada de plantas exóticas invasoras, entre as que, en Galicia, compre salientar a mimosa (*Acacia dealbata*), considerada unha das 100 especies exóticas invasoras máis perigosas, que se está a expandir no territorio galego a un ritmo de 2.500 ha/ano grazas, en boa medida, aos incendios.

A extinción dos incendios forestais tampouco está exenta de consecuencias ambientais. A intervención de maquinaria pesada para abrir accesos e corta-lumes provoca fortes impactos paisaxísticos e a fragmentación de hábitats; ademais, xeralmente favorece os fenómenos erosivos. Pola súa banda, o emprego de axentes extintores ou que retardan a chama teñen efectos prexudiciais sobre os organismos acuáticos, pero tamén sobre as características dos solos e a sucesión secundaria post-incendio, sobre todo os compostos ricos en nitróxeno e fósforo, porque favorecen as especies que rebrotan en detrimento das xerminadoras obrigadas, e as que prefiren solos ricos en nutrientes fronte as de medios oligotróficos.

Malia que bastantes especies de mato e de árbores son capaces de rebrotar - sexa de xemas nos troncos ou gaias, sexa de cepa - e outras poden recuperarse con relativa rapidez dende o banco de sementes, ou a partires de bulbos ou rizomas, a rexeneración natural pode ser demasiado lenta para evitar graves danos post-incendio ao ecosistema.

En zonas nas que a severidade do lume sobre a vexetación e o solo foi elevada pode ser imprescindible adoptar medidas de conservación de solos e augas, nomeadamente en zonas con elevado risco erosivo pola topografía e/ou o réxime de precipitacións. Por iso, en calquera incendio de certa extensión o primeiro que hai que facer despois de o extinguir é avaliar co maior detalle posible o estado en que quedaron o solo e a vexetación, para así poder planificar onde, como e cando intervir e seleccionar as medidas de estabilización de emerxencia máis axeitadas en cada caso.

Mentres que en zonas afectadas con baixa severidade xeralmente non é necesario nin conveniente intervir, nas zonas de severidade moderada e, sobre todo, as de severidade alta será recomendable aplicar medidas que faciliten a rexeneración da vexetación e deteñan a erosión: sementeira de plantas herbáceas autóctonas, alfombrado con palla ou restos vexetais obtidos «*in situ*», construción de faixas con restos de corta ou rolos de material biodegradable ao longo das curvas de nivel.

As técnicas de estabilización post-incendio de emerxencia poden ser moi efectivas, reducindo a erosión en máis dun 90%, pero todas elas son economicamente custosas, a viabilidade da súa aplicación depende do tempo dispoñible entre o lume e as primeiras chuvias intensas e nalgúns casos poden competir coa actividade agrogandeira (sementes, herba de sega, palla,...). Por exemplo, para cubrir con palla a superficie queimada en Galicia o pasado mes de outubro (máis de 50.000 ha) farían falla non menos de 4.200 camións de 30 toneladas, nuns momentos nos que pola grave seca os gandeiros atopan dificultades para alimentar aos seus animais.

Decididamente, a solución ao problema dos incendios forestais en Galicia pasa por abordar a raíz do problema: evitar o 90% dos lumes provocados intencionadamente pola actividade humana.

Facultade de Bioloxía, 3 de novembro de 2017.

ANUARIO

Redacción y ejecución de proyectos: una experiencia colaborativa en 4º curso de Biología

Rogelio Santiago¹, Jose Luis González² y Pedro Pablo Gallego¹

¹ Facultad de Biología, Campus As Lagoas, Marcosende, 36310 Vigo, Pontevedra

² Escuela de Ingeniería Industrial, Campus As Lagoas, Marcosende, 36310 Vigo, Pontevedra

¿Cómo se fraguan los objetivos de la materia?

A primera vista si un alumno le echa un vistazo la guía docente de la materia “Redacción y Ejecución de Proyectos” en relación a los resultados del aprendizaje verá que se destacan, entre otros, una serie de objetivos tales como: “conocer las competencias profesionales que el título y la legislación otorgan al Graduado en Biología”, “conocer la tipología de proyectos y estudios propios de los ámbitos profesionales del biólogo”, y “saber utilizar la metodología general para la redacción y elaboración de proyectos y estudios”, objetivos en los que se trabaja un amplio compendio de competencias básicas, generales, específicas y transversales. Pero, ¿cómo se llega hasta aquí?, pues en este caso todo comenzó con la idea de dos profesores, Pedro Pablo Gallego (Facultad de Biología) y José Luis González Cespón (Escuela de Ingeniería Industrial), para los que el esbozo de esta materia en la titulación de Biología debía contener un enfoque práctico y ligado a la resolución de problemas de la sociedad en el ámbito de la biológica. Se decidió entonces que los alumnos de biología realizaran el planteamiento de temáticas de estudio para el desarrollo de un proyecto conjunto en el que trabajasen, entre otros, con alumnos de Ingeniería Industrial, Filología y Traducción, y Ciencias Jurídicas y del Trabajo, de forma colaborativa. Este tipo de metodología docente se integró dentro de un proyecto docente más amplio desarrollado por un grupo diverso de profesores de la Universidad de Vigo. Este grupo de docentes investiga y experimenta sobre procedimientos educativos innovadores que persiguen la mejora del rendimiento académico del alumnado. Utiliza para ello estrategias didácticas multidisciplinares basadas en la metodología ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos), que se desarrollan entre estudiantes de diferentes titulaciones. Esto supone la integración y cooperación del estudiantado que pertenece a los diferentes grados y que aportan su conocimiento específico al proyecto.

Asimismo, además del desarrollo de una memoria conjunta, todos los trabajos son expuestos en los conocidos “Congresos de Trabajos Colaborativos” (CTC) en los que cada proyecto, en lugar de presentarse en una exposición en el aula, se expone al público general en un auditorio, y bajo el formato de un congreso oficial.

¿Qué tipo de trabajos nos hemos encontrado en los últimos años?

Destacamos, entre otros, proyectos de vermicompostaje, hidroponía, micropropagación, acuaponía y acuicultura, producción de cultivos en invernaderos automatizados, diseño de jardines verticales, producción de biodiesel, bioetanol o biogás, producción vinícola, producción de compuestos industriales de origen biológico, aviarios y granjas de producción animal, o laboratorios de microbiología clínica, análisis genético, bioquímico o de reproducción asistida. Como se puede observar existe una amplia diversidad de áreas de conocimiento lo que enriquece en su desarrollo a alumnos y profesores de la materia. En el curso académico 2017/2018 hemos llegado a la décima edición de los congresos colaborativos, y como resumen numérico se puede hablar de 192 trabajos presentados, 1.527 alumnos participantes, 18 profesores participantes, 6 grados involucrados y 5 centros educativos de la Universidad de Vigo.

Desde el punto de vista de cómo se hacen llegar los proyectos a la sociedad, se puede decir que fundamentalmente a través del DUVI y de la UVigoTV, que recogen las últimas ediciones de los congresos, y de la presentación de propuestas de proyecto a diversos concursos de carácter universitario. En este último apartado caben resaltar los siguientes trabajos: el proyecto de “” uno de los vencedores de la VII edición de los premios INCUVI, y ganadores del premio local de la Cátedra Telefónica Hack For Good, se presentó a en la décima edición del CTC con el título de “Planta de Compostaje a partir de Biomasa Forestal”, un proyecto que transforma los residuos forestales en compost ecológico, y que trabajaron en una parte importante en la materia “Redacción y Ejecución de Proyectos”. También en el Hack For Good de este año 2018 fue premiado el proyecto de “Planta de Producción de Bioplásticos a partir de Aguas Residuales”, que describe la producción de un bioplástico análogo al polipropileno, pero degradable en unos meses, mediante bacterias que utilizan como materia prima aguas residuales. Asimismo, en cursos pasados (2017), fue premiado el trabajo “Biodiesel a partir de Microalgas de una Central Térmica”, en el que mediante el CO₂ producido como desecho de una central térmica se favorecía el crecimiento de una microalga de la que posteriormente se obtendría biodiesel.



Fig. 1. Imagen de la inauguración del X Congreso de Trabajos Colaborativos celebrado en Abril de 2018. De izq. a der.: D. Francisco Torres Pérez, Vicedecano de la Facultad de Ciencias Jurídicas y del Trabajo, D. Luís Alonso Bacigalupe, Decano de la Facultad de Filología y Traducción, D. Jesús Míguez Miramontes, Decano de la Facultad de Biología, y Fernando Cerdeira Pérez, Subdirector de la Escuela de Ingeniería Industrial

Proyectos destacados en el curso académico 2017/18

Dentro de la amplia variedad de proyectos presentados el curso pasado destacamos en esta breve reseña dos, pero podéis encontrar mayor información y detalle en la publicación derivada del libro de resúmenes del congreso (<https://view.publitas.com/eei-universidad-de-vigo/10o-ctc-congreso-de-trabajos-colaborativos-libro-de-resumenes/page/1>).

«Proyecto de Erradicación de Vespa velutina»: *Vespa velutina* Lepeletier, conocida como avispa asiática, es una especie invasora introducida accidentalmente en Europa Occidental que ha sido capaz de establecerse en zonas como el Norte de España. Su expansión supone una pérdida de biodiversidad, pues su dieta incluye abejas melíferas, otras especies de avispa e insectos, influyendo de forma negativa sobre la polinización y generando, además de daños medioambientales, un gran impacto económico sobre la apicultura. En este proyecto se plantea una solución eficaz y rentable a largo plazo, que busca resolver la problemática en Galicia y frenar su expansión en otras áreas de Europa. Se plantean distintos métodos de control y erradicación de este insecto mediante el establecimiento de un centro de investigación en el cual se establecen principalmente dos estrategias: (1) se llevan a cabo pruebas que determinen qué sustancia atrayente es más efectiva y específica a la hora de capturar la avispa, y (2) se establece el diseño de trampas de captura automatizadas. Como se puede entender, el proyecto avanza en la resolución de la problemática de especies invasoras, por desgracia de plena actualidad.

«Proyecto de Cultivo Hidropónico de Fresas»: el estudio de la hidroponía (cultivo de plantas que usa disoluciones minerales en vez de suelo agrícola) tiene una larga trayectoria, pero con el

avance de la ciencia y la tecnología su optimización está en auge. A esto se suma la demanda de cultivos con una producción de alta calidad y rendimiento, por lo que el cultivo hidropónico es el candidato perfecto para una gran cantidad de empresas y agricultores. Este proyecto se centra específicamente en el cultivo hidropónico de fresas, desarrollando la totalidad del proceso de producción, desde el cultivo de los estolones hasta el empaquetado del producto final, con un exhaustivo control de calidad del proceso. Por otra parte, se describe un área de I+D+i, con 3 líneas experimentales de carácter innovador: (1) almacenamiento en frío dirigido a estudios de producción, (2) estudios de mejora de enraizamiento, y (3) caracterización molecular dirigida a estudios de mejora de la calidad de la fresa, las cuales aportan avances significativos en el campo de la agricultura y la hidroponía.

Como conclusión enfatizamos que esta experiencia interdisciplinar de la Universidad de Vigo, con la participación de diferentes ámbitos de conocimiento trabajando en un proyecto común, es única en el sistema educativo Español. Y en lo que es que se refiere al grado de satisfacción del alumnado, las encuestas que han realizado arrojan un 95% de satisfacción, y en ellas los alumnos afirman haber conseguido una significativa mejora de sus competencias y habilidades comunicativas. Del mismo modo, la memoria del proyecto y la asistencia al congreso son méritos a incluir en su currículum incipiente.

ANUARIO

Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso de la Madrina

Elena Cartea González

Investigadora científica y Directora de la Misión Biológica de Galicia (CSIC)

Sr. Rector Magnífico, Sr. Decano de la Facultad de Biología, profesores, alumnos, señoras y señores. Quiero comenzar este discurso agradeciendo en primer lugar al Sr. Decano de la Facultad de Biología la deferencia por la invitación a participar como madrina en este Acto de Graduación del curso académico 2017-2018, de la Facultad de Biología de la Universidad de Vigo.

Es para mí un gran honor, que agradezco profundamente, dirigiros la palabra en este día tan especial, como es el de vuestra graduación.

Debo confesaros que, a pesar de ser Licenciada y Doctora en Biología por la Universidad de Santiago de Compostela, fue aquí, en Vigo, mi ciudad natal, donde yo empecé mis estudios de biología. Por aquel entonces, la Universidad de Vigo aún no existía y estudiábamos en el Colegio Universitario o CUVI, como lo llamábamos entonces. Aquí realicé el primer ciclo de biología y pasé tres años maravillosos descubriendo que había elegido bien, sí, que estaba estudiando aquella carrera que me había apasionado desde bien pequeña. Por tanto, es para mí un honor y supone una gran satisfacción volver a mis orígenes y reencontrarme hoy en este acto con antiguos compañeros, algunos son hoy profesores vuestros y, por supuesto, volver a ver a antiguos profesores, como D. Manuel Reigosa, o Pachi, mi profesor de fisiología vegetal y actualmente Rector de esta Universidad.

Hoy es un gran día en el que los protagonistas sois vosotros. Este acto marca el final de uno de los caminos más importantes de vuestras vidas. Habéis conseguido una meta personal que os propusisteis hace cuatro años cuando entrasteis en esta Facultad de biología y tras muchas horas de estudio y clases, tras muchas preocupaciones y agobios, tras decenas de exámenes y años muy duros, lo habéis conseguido.

Por tanto, este es un momento único que debéis disfrutar, en compañía de aquellos que lo han hecho o han ayudado a hacerlo posible. Aunque, lógicamente, estas palabras van dirigidas a vosotros, los nuevos graduados, no creo que fuera justo olvidar a vuestros profesores, los cuales os han transmitido su conocimiento y su ilusión por la biología. Mi sincera enhorabuena a vuestras familias, a las madres, padres y familiares que están hoy aquí acompañándoos. Nunca olvidéis que, sin ellos, vuestro éxito no habría sido posible.

Al echar la vista atrás me doy cuenta de que estudiar Biología ha sido una de las mejores decisiones en mi vida, ya que estudiar esta carrera me permitió descubrir mi vocación investigadora, algo que me ha posibilitado desarrollar una carrera profesional que no hubiera podido imaginar ni en el mejor de mis sueños. Tras acabar

la Universidad, comencé mi carrera investigadora en Pontevedra, en la Misión Biológica de Galicia, uno de los cinco centros que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas tiene en Galicia, y el más antiguo del CSIC en el área de las Ciencias Agrarias. Allí comencé como ‘estudiante en prácticas’ con mucha ilusión y en un momento donde las oportunidades de trabajo para los biólogos escaseaban aún más que ahora. En este centro, tuve la gran oportunidad de encontrar mi camino en el mundo de la biología y la genética de plantas siempre de la mano de otros estudiantes de doctorado e investigadores, que hoy en día han resultado ser mis compañeros de trabajo, además de buenos amigos. Actualmente sigo trabajando en la Misión Biológica como Investigadora y tengo el honor y la responsabilidad de ser la responsable de un grupo de investigación desde hace casi dos décadas y la directora de este centro desde el año 2015.

No es éste el momento para ponerme aquí a describiros exhaustivamente lo que es el «Consejo», pero sí deciros que allí tenéis también una oportunidad de futuro si os gusta el mundo de la investigación. El CSIC representa el mayor organismo público de investigación de España, el tercero de Europa y el séptimo del mundo; allí trabajan, o trabajamos, unas 12000 personas, dedicadas a hacer “ciencia”: desde los aspectos más básicos o fundamentales, hasta los desarrollos tecnológicos más complejos; desde las ciencias humanas y sociales, a la biomedicina.

Os habéis pasado estos años oyendo cuán difícil lo tenéis los jóvenes, y ahora estáis a punto de abrir esa puerta que os conduce al inicio de vuestra andadura profesional, llenos de lógica inquietud por vuestro futuro. Es posible que mañana, la pregunta que os haréis muchos de vosotros será: “¿Y ahora qué?” Efectivamente, esta es una pregunta importante. Seguro que algunos ya tenéis la respuesta y el futuro planificado, otros a lo mejor continuaréis vuestros estudios aquí o en otras universidades. Pero para aquellos que sigáis buscando las respuestas acerca del “¿y ahora qué?”, me gustaría deciros que todos hemos pasado por ello, yo misma he vivido esos momentos de incertidumbre y me gustaría recordaros como os decía al principio de estas palabras que en el CSIC tenéis las puertas abiertas para todos aquellos que deseéis dedicaros en el futuro a desarrollar una carrera investigadora.

Hoy, los avances científicos que se necesitan para dar respuesta a los retos de la sociedad del siglo XXI, requieren de la actuación coordinada de investigadores formados en diferentes disciplinas, capaces de aportar nuevas claves que permitan resolver los principales problemas a los que nos enfrentamos día a día.

La sociedad actual es compleja y está sobrecogida por una profunda crisis económica, acompañada de una crisis de valores sin precedentes. Pero es cierto también que vosotros, jóvenes y bien formados, empezáis a tener nuevas oportunidades. Sois biólogos, sois profesionales de la ciencia y estáis capacitados para aportar no sólo vuestros conocimientos, sino a vosotros mismos para mejorar la sociedad. Vuestra generación ha de ser la que consolide la salida de la crisis, pero para eso hay que arriesgarse, hay que innovar, hay, en definitiva, que trabajar. Lo que os propongo es que os arriesguéis, que sigáis vuestra vocación, que seáis felices con vuestra profesión, porque esa será la única manera de que podáis hacer felices a los demás. No dejéis nunca de estudiar, de aprender cosas nuevas, pero, sobre todo, nunca perdáis la ilusión que, un día, os motivó a estudiar esta bonita carrera.

Me vienen a la mente varias palabras de grandes autores, sin duda mucho más autorizados que yo misma, para marcar una forma de actuar. Por ejemplo, un gran científico como era Albert Einstein decía que “El mayor estímulo para esforzarnos en el estudio y en la vida, es el placer del mismo trabajo, el placer de los resultados y la conciencia del valor de esos resultados para la comunidad”.

Quiero terminar felicitándoos nuevamente y, por supuesto no olvidar mis más sinceras felicitaciones a vuestros padres y familiares, por vuestro esfuerzo y los éxitos conseguidos.

Os deseo todo lo mejor y muchos éxitos en esa nueva etapa de la vida que se abre delante de vosotros.

Enhorabuena por vuestra graduación y muchas gracias a todos por su atención.

ANUARIO

Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso del Padrino

Humberto Quesada Rodríguez

Profesor de Genética en la Facultad de Biología

Sr. Rector, Sres. Decanos, estimados compañeros y familiares, queridos alumnos, antes de nada, quería expresaros mi profunda gratitud por haberme nombrado vuestro padrino de promoción. Confieso, que tras la ilusión inicial, me asaltó cierta inquietud sobre cómo afrontar este honor. Mi primera duda, fue plantearme qué temas debe incluir un discurso de graduación. La tradición, establece que existen tres labores principales que un orador debe realizar en un discurso de esta naturaleza.

La primera, es reconocer y celebrar los logros de la promoción que se gradúa. Y vale la pena hacerlo, ya que se trata de un hito muy importante para todos vosotros. Hoy, es un día de felicidad y triunfo. Para llegar hasta aquí, habéis invertido cuatro años de esfuerzo, determinación, y sacrificio. Por ello, os merecéis el aplauso y cada una de las felicitaciones que estáis recibiendo hoy. Este es también un día de orgullo para vuestros padres y familiares, que han estado apoyándoos durante toda esta etapa. Y por supuesto, es también un día de enhorabuena para nuestra Universidad, que celebra hoy la graduación de un grupo de jóvenes con una sólida formación.

Estos años han sido increíblemente importantes. Han jugado, sin duda, un papel clave en forjar vuestra personalidad para convertirlos en quienes sois hoy, e influirán en las decisiones que toméis a partir de ahora, a menudo, de formas que no percibiréis de modo consciente. Se abre ahora un nuevo capítulo en vuestras vidas, lleno de desafíos y nuevas ilusiones, pero hoy es el día de hacer una pausa, para sentirse orgullosos del camino recorrido.

El segundo requisito de un discurso de graduación, es ofrecer algunos consejos a los recién graduados. En base a mi formación como hombre de ciencia, mi primer consejo es el siguiente: cada vez que afrontéis los retos que os deparará la vida, tratad de pensar de forma científica. La ciencia no se limita a la mera recopilación de hechos y observaciones. Es mucho más que eso. Es un hábito de la mente, una herramienta para tratar con el mundo. La ciencia es un proceso que nos permite descubrir cómo funcionan las cosas a través de un pensamiento estructurado y sistemático: te planteas una pregunta, formulas una hipótesis que pueda responderla, y verificas empíricamente esa hipótesis para comprobar si es correcta. Este proceso enriquece tu pensamiento, y es una fuente de inspiración para la obtención de nuevos conocimientos y experiencias. Lo que trato de deciros, es que el método científico es una herramienta poderosa para esculpir vuestro pensamiento, y vuestra visión del mundo, mediante el cultivo del conocimiento objetivo.

Pensad, por tanto, como hombres y mujeres de ciencia. Tratad de comprender el mundo que os rodea. Planteaos preguntas sobre vosotros mismos y sobre los demás. Y buscad respuestas reales, usando la ciencia como un baluarte contra los intereses creados, los prejuicios, las supersticiones, y las suposiciones reconfortantes pero injustificadas.

Mi segundo consejo, se refiere a la necesidad de que perdáis el temor al fracaso, o dicho de otra manera, a que apreciéis el formidable valor formativo que el fracaso tiene en el desarrollo personal y profesional. Pensad que es imposible vivir sin cometer errores, a menos que viváis de una forma tan cautelosa, que ello os conduzca a una vida estéril y yerma, en cuyo caso, también habréis fracasado.

La capacidad para afrontar la adversidad, y el conocimiento que se deriva de haber superado las dificultades, os hará más fuertes, sabios, y empáticos. Lo que trato de deciros, es que la sabiduría se construye sobre los contratiempos, tal y como resumió Niels Bohr en una cita memorable. Decía Bohr “Un experto, es la persona que ha cometido todos los errores imaginables”. No os obsesionéis, por tanto, con la idea del éxito, especialmente con la del éxito inmediato, ya que en muchos casos éste es simplemente fruto del azar, y no del mérito personal. Tened en mente que el éxito es un concepto muy subjetivo, y que cuando llega sin una experiencia previa de adversidades, se convierte, en no pocas ocasiones, en un factor debilitador de la personalidad.

Mi tercer consejo, es que tengáis confianza en vuestras posibilidades y capacidades, pues cualesquiera que sean vuestras aptitudes, siempre habrá un campo en el que podréis sobresalir si trabajáis de forma metódica, diligente, y apasionada. Aprended a reconocer vuestras inseguridades y miedos, a reconciliarlos con ellos, y a aceptarlos como sois. Dejad que sean las barreras externas, y no las internas, las que constituyan una dificultad para vuestro avance. Habrá situaciones en las que lo mejor que podáis ofrecer no será suficiente, quizás por mala suerte u otras razones, pero siempre que deis lo mejor de vosotros mismos, os irá bien. En definitiva, el esfuerzo y la constancia en el trabajo son virtudes que, en el medio y largo plazo, os permitirán alcanzar metas que ahora apenas podéis intuir. Y quizás, nadie mejor que Charles Darwin para ilustrar este hecho. Destaca Darwin, como colofón final a su autobiografía, lo siguiente: “Mi éxito como hombre de ciencia, cualquiera que sea la altura que haya alcanzado, ha sido determinado, en la medida que puedo juzgar, por complejas y diversas cualidades y condiciones mentales. De ellas, las más importantes han sido: a) la pasión por la ciencia; b) paciencia

ilimitada para reflexionar largamente sobre cualquier tema; c) laboriosidad en la observación y recolección de datos, y d) una mediana dosis de inventiva así como de sentido común. Con unas facultades tan ordinarias como las que poseo, es verdaderamente sorprendente que haya influenciado, en grado considerable, las creencias de los científicos respecto a algunos puntos importantes". Por último, la tercera, y más importante, labor de un orador en un discurso de graduación, es esta: saber cuándo acabar. Así pues,

gracias de nuevo por invitarme a ser vuestro padrino. Mis felicitaciones a todos los miembros de esta promoción. Os deseo que podáis llevar a cabo vidas intensas, y desarrollar carreras honestas y comprometidas con la búsqueda del conocimiento. Enhorabuena.

ANUARIO

Acto de Graduación 22 de junio de 2018. Discurso de los alumnos

Marisol Torres Gonçalves y Carlos García González



Marisol Torres Gonçalves. Buenas tardes profesores, compañeros, familiares y demás seres queridos. Muchas gracias por estar presentes en el día en el que una nueva generación de biólogos sale al mundo, para convertirse todos, estamos seguros, en profesionales cualificados, dedicados y llenos de pasión... Una pasión que parece que me falta a mí esta tarde, así que voy a pedir que suba aquí conmigo al más apasionado, al que más le gusta el salseo, a mi compañero de tejemanejes... El señor Carlos García...

Carlos García González. ¡Ya estoy aquí Marisol! Cuatro años después y sigues necesitándome para caerle bien a la gente.

M.T.G. Ser diva es muy cansado, si encima tuviese que preocuparme de ser agradable... no habría llegado hasta aquí.

C.G.G. Bueno, no se te ha dado tan mal... En realidad, no se nos ha dado tan mal a ninguno, hemos superado la selección natural!!!

M.T.G. ¡Lo siento Darwin! Aunque algunos... hay que reconocer que lo habéis hecho estupendamente bien y creo que os merecéis un pequeño reconocimiento... Así que voy a empezar pidiendo un aplauso para todas esas matrículas de honor y sobresalientes!!

C.G.G. También, para los notables de verdad y para los que llegaron por tener buena vista y cuello largo!!!

M.T.G. Es una broma por favor, que nadie nos eche a la hoguera!!! Y como no, a los que habéis llegado hasta aquí a base de labia y de 5s.gracias, para eso sí que hace falta talento, un aplauso!!!

C.G.G. Uy ¿qué haría yo sin la labia y esta caraña de niño bueno? Aunque también le debo mucho a la paciencia de algunos de nuestros profesores, a todos esos que se esforzaron día tras día por enseñarnos de verdad. Sin duda, aunque han sido 4 años muy duros, han hecho que nos sintamos como en casa.

M.T.G. Y por eso queremos dar especialmente las gracias: a nuestro Decano, que siempre ha tenido en cuenta nuestra voz y trató en todo momento de poner en consonancia el punto de vista tanto de alumnos, como de profesores. A nuestros profesores y tutores del PAT, que pusieron todo su empeño y buena voluntad en transmitirnos sus conocimientos, guiarnos por los recónditos caminos de la ciencia y por atender nuestras quejas... (que no fueron pocas...)

C.G.G. Pero teníamos buena intención, solo queríamos aportar nuestro granito de arena para mejorar el Grado en Biología. Esperamos de corazón que haya servido para algo.

M.T.G. Precisamente por el volumen de quejas que tuvo que soportar, por toda su paciencia y porque nadie da la clase con más estilo y sin pasarse ni un solo minuto... quiero pedir un fuerte aplauso para nuestro padrino Humberto. Siempre intercedió entre nosotros y el equipo de dirección y, aunque 3º no fue un curso fácil, él intentó por todos los medios mejorarlo, escuchándonos y dándonos toda su comprensión y apoyo. ¡Gracias, Humberto!

C.G.G. También queremos darles las gracias a unas personas sin las que no habríamos sobrevivido. Unas personas que siempre nos reciben con una sonrisa en sus caras y nuestros cafés y que nos alimentaron con la mejor tortilla en momentos de flaqueza. Gracias Oli, Lisi y Beas!

M.T.G. Por último queremos dedicaros unas palabras a vosotros, compañeros. El camino hasta aquí no ha sido fácil, ha estado lleno de noches en vela, navidades en las que apenas nos daba tiempo a comernos las uvas y semanas santas sin un rayo de sol, pero lo conseguimos. Este año se cierra una etapa de nuestras vidas, dejamos de ser juveniles estudiantes de Grado para convertirnos en... «viejunos» estudiantes de Máster. Podría parecer que estamos estancados, pero os aseguro que no es así. Estamos en continuo movimiento, aprendiendo cada día, no solo sobre Biología, sino sobre la vida.

C.G.G. Mirad..., desde luego, yo he aprendido mucho sobre Biología, pero sobre todo he aprendido a valorar el tiempo, a no desperdiciarlo, a manejarlo y estirarlo hasta el último minuto para entregar cualquier trabajo a las 23:59.

M.T.G. Siempre a tiempo, a rastras, pero ni tan mal.

C.G.G. Pero si queréis una buena recomendación, una valiosísima lección... Allá a dónde vayáis haced amigos. Haced amigos de todas las formas, colores y edades. Aunque penséis que son personas demasiado diferentes a vosotros, aunque penséis «uff... qué personaje», aunque tenga toda la pinta de diva prepotente... Haced un esfuerzo para ver más allá y haced amigos. No solo porque eso os enriquece como personas, sino porque nunca sabes de donde te pueden caer unos buenos apuntes, unos exámenes, un trabajillo de otro año y... sobre todo consejos y apoyo cuando más los necesitáis, porque si un amigo te dice que lleva fatal el examen, tú ya te sientes mucho mejor, aunque no tengas ni puñetera idea.

M.T.G. Cuatro años dan para mucho, nos llevamos a personas maravillosas y momentos inolvidables: como los diluvios en las salidas de intermareal, apretones a ranas que no se volvieron a mover más, meterse en la laguna a recoger lo rico del fondo, acosar a lombrices, varear árboles, medir 100 veces con el espectrofotómetro, asepsia, asepsia, asepsia...

C.G.G. Contaminación, contaminación!!! Esas cosas que cuentas, cuando te preguntan qué haces en la carrera, para que después de todo te digan una y otra vez, «si te hubieras metido en veterinaria...»

M.T.G. «Ay, si te hubieses metido en medicina...»

C.G.G. «En farmacia...»

M.T.G. Pero la gente no entiende todo lo que implica la Biología y ser biólogo. Familiares y demás seres queridos, hoy estáis en el lugar más seguro del mundo, porque estáis rodeados de biólogos. Y si por algo se caracteriza un biólogo, es por amar la vida. Un biólogo mira el mundo con otros ojos, mira el mundo desde la curiosidad por cada proceso, teniendo en cuenta lo frágil que es el equilibrio que nos sostiene a todos y por eso estudia, enseña, cuida y respeta la vida.

C.G.G. Ya somos biólogos y de los buenos. No solo por nuestras notas o por nuestros TFGs, sino porque durante estos 4 años hemos demostrado día a día en qué consiste el respeto hacia criaturas diferentes a nosotros, hemos aprendido a escuchar y hasta a apreciar a esas criaturas. Criaturitas, compañeros, amigos... Nos hemos estudiado [jeje ajam, risita malévolas], enseñado, cuidado y respetado los unos a los otros. Somos biólogos y después de medirnos la tensión, de sacarnos sangre, de desmayarnos, de meternos en el medio de los «toxos», después de cada cena de clase, de cada juerga, de cada debate (a veces casi sangriento), de cada «San Alberte», San Pepe, San Teleco y todos los demás santos... ahora también somos familia y nuestro legado en esta Facultad serán el compañerismo y el «buen-rollismo» que nos han acompañado y nos han hecho crecer como personas a lo largo de la carrera. Os damos las gracias a todos por eso.

M.T.G. Para terminar, no queremos dejar sin mencionar a Lynn Margulis, Doctora Honoris Causa a propuesta de esta Facultad y mujer científica, que seguramente tuvo que luchar contra muchas injusticias por el simple hecho de ser mujer. Como tantas otras antes que ella, como tantas otras después. Especialmente en días como el de hoy [referencia al juicio de la «manada»]. Por otra parte, ella creía que el ser humano vive en un constante autoengaño al pensar que puede proteger, cuidar o guiar de la Tierra viva. Pero es el Planeta el que se ocupa de nosotros, no nosotros de él. Más bien, deberíamos protegernos y cuidarnos de nosotros mismos.

C.G.G. Y por eso, y por mucho más, el mundo necesita más biólogos. Ya sabemos que las ratas de laboratorio van a vivir mejor que nosotros, así que dejad de decirnos que nos equivocamos de carrera si lo que queríamos es ser ricos, porque eso, no es lo que nos importa.

M.T.G. Compañeros, amigos, tenemos el potencial para cambiar el mundo de una forma que nadie más podría. Así que, y esto va a quedar muy bonito, creo que debemos tomarlo al pie de la letra: salid ahí y no dejéis que nada se interponga en vuestro camino, cumplid vuestros sueños por muy locos que sean y que nuestro legado para el mundo lleve impreso el estilo de los «Biólogos en acción» [nombre del grupo de Whatsapp de nuestra clase].

M.T.G. y C.G.G. ¡Mucha suerte compañeros!

Chrysomallon squamiferum: un titán desconocido

Alonso Carballo, D.; Fernández Troncoso, E.; González Campos, C. y Pérez Lago, J. M.

Materia:

Zoología I: invertebrados no

artropodos

2º curso del Grado en Biología

Tutora:

María Fuencisla Mariño Callejo

Departamento de Ecología y

Biología Animal

Resumen

En este artículo hemos hecho una revisión bibliográfica acerca de *Chrysomallon squamiferum*. Hablaremos de su hábitat, de su morfología externa (destacando algunas estructuras de especial interés como su concha o sus escleritas), de sus depredadores y simbiosis y, sobre todo, de las interesantísimas adaptaciones que ha desarrollado para poder vivir en el medio que habita.

Introducción

Si tenemos que pensar en un animal que haya sufrido un proceso de adaptación extrema, ese es *Chrysomallon squamiferum*, un molusco gasterópodo marino que vive en las profundas fumarolas del océano, donde las condiciones de vida son inviables para la mayor parte de animales. Como adaptación a este medio ha desarrollado una concha increíblemente resistente de tres capas, la cual le permite resistir las condiciones ambientales complicadas en las que debe desenvolverse.

Hábitat y distribución

Esta especie se encuentra en las fumarolas volcánicas de Long, Kairei o Solitaire, hacia el sureste del Océano Índico, a unos 2500 metros de profundidad (Chen *et al.*, 2015a). La columna de agua que soporta el animal sobre sí mismo provoca valores de presión de 250 atm. Además, la temperatura allí abajo ronda los 370 °C, y el pH fluctúa alrededor de 3.5 (Nakamura & Takai, 2015). ¡Esto último podría equipararse a vivir rodeado de vinagre! Por otra parte, en estas zonas, *Chrysomallon squamiferum* tiene a su disposición diversas sustancias inorgánicas, tanto formando parte del sustrato como en disolución, las cuales es capaz de aprovechar (Gallant & Von Damm, 2006).

Descripción general

Chrysomallon squamiferum es un gasterópodo con concha en forma de espiral (Fig. 1). Es la especie tipo y la única especie dentro del género *Chrysomallon*. Su nombre proviene del griego clásico y significa “de pelo dorado”, porque en su concha posee destellos dorados debido a la pirita que contiene. El epíteto específico *squamiferum* viene del latín y hace referencia a sus escleritas.



Figura 1. *Chrysomallon squamiferum* (tomado de Warén *et al.* 2003).

Existen tres variedades dentro de esta especie: dos morfotipos de colores oscuros y un tercero de un color blanquecino.

Morfología de la concha

Muchos moluscos se protegen de sus depredadores con conchas duras, compuestas por una frágil capa exterior de calcita y una dura capa interna compuesta de aragonito, quitina y proteínas, también conocida como nácar o madreperla. *Chrysomallon squamiferum* no tiene nada que envidiarles, ya que su concha es mucho más dura y resistente (Uruchurtu, 2010).

Una concha debe asegurar la protección del animal que la porta. Por lo tanto, no es de extrañar que algunas de sus propiedades (dureza, resistencia a penetración o deformación elástica) vengan determinadas por el hábitat del animal en cuestión. *Chrysomallon squamiferum* ha desarrollado un increíble exoesqueleto dividido en tres capas.

La capa externa de sulfuro de hierro contiene greigita (Fe_3S_4) y pirita (FeS_2) (Suzuki *et al.*, 2006). *Chrysomallon squamiferum* es el único metazoo conocido capaz de emplear este material en la formación de su esqueleto. La morfología del caracol se caracteriza porque presenta escleritas de este material, las

cuales recuerdan a tejas de un tejado, y pueden medir hasta 30 μm de ancho (Yao *et al.*, 2010).

La capa media es orgánica, y se piensa que puede corresponderse con el periostraco, una capa orgánica que se encuentra encima de la capa calcificada en las conchas de los gasterópodos (Malacologia.ES, en línea). Tiene aproximadamente 150 μm de ancho; un valor que, en comparación con los moluscos habituales, es muy grande. Se han encontrado similitudes en este aspecto con otros moluscos de su hábitat (como pueden ser *Alviniconcha*, *Lepetodrilus* o *Bathymodiolus*) (Yao *et al.*, 2010), pero también diferencias con otros que habitan fumarolas de otras partes del mundo, los cuales tienen el periostraco más fino. Aunque se barajan hipótesis de en qué puede resultar beneficiosa esta característica, aún no se sabe a ciencia cierta.

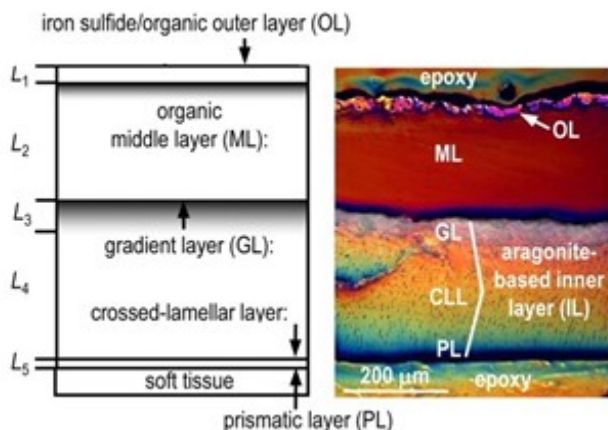


Figura 2. Las distintas capas que conforman la estructura de la concha de *Chrysomallon squamiferum* (Tomado de Yao *et al.*, 2010).

La capa interna está muy calcificada, y puede llegar a medir hasta 250 μm . Está formada por aragonito, que se posiciona de forma gradual. Los minerales que forman esta capa adoptan diferentes estructuras (lamelar cruzada o prismática), como se puede observar en la figura 2. La curvatura de la concha permite amortiguar la presión ejercida sobre esta capa, reduciendo las probabilidades de fractura (Uruchurtu, 2010; Yao *et al.*, 2010).

Escleritas

Las escleritas son unas estructuras repartidas por todo el pie del animal que, al igual que la concha, constan de varias capas. La capa externa está compuesta principalmente por sulfuro de hierro, a esta le sigue una capa orgánica media, que da lugar por último al pie del gasterópodo. En las escleritas, al contrario que en la concha, no aparece la capa interna calcificada (Yao *et al.*, 2010).

Depredadores y simbiosis

Esta especie convive en el fondo marino con otras especies de animales como moluscos, cnidarios, etc (Warén *et al.*, 2003). La presencia de tantas especies en un mismo biotopo aumenta la posibilidad de ser depredado.

Entre las principales amenazas de depredación de este caracol se encuentra el género de caracoles marinos *Phymorhynchus*. Estos animales poseen veneno en sus dientes, pero su corta longitud no consigue, en la mayoría de los casos, atravesar la capa de escleritas del caracol. De esta manera, se extiende la idea de que la formación de minerales en estas estructuras está mediada por *Chrysomallon squamiferum* y puede modificarla según sus necesidades (Suzuki *et al.*, 2006). Por otro lado, se han observado ataques de ciertos braquiuros (cangrejos de mar) mediante golpes con sus quelípedos sobre las conchas de *Chrysomallon squamiferum* (Yao *et al.*, 2010).

C. squamiferum depende, en su vida adulta, de bacterias endosimbiontes para la obtención de alimento. Las bacterias le proporcionarán alimento en forma de carbohidratos, y este, a cambio, les proporciona refugio en la glándula esofágica (Nakamura & Takai, 2015). En este gasterópodo el contraste de tamaño entre la glándula esofágica y el sistema digestivo sugiere que los endosimbiontes son la fuente nutricional clave, aunque actualmente no está claro si esta especie cuenta con otros mecanismos de alimentación (Chen *et al.*, 2015b).

La rádula de *C. squamiferum* es proporcionalmente mucho mayor en juveniles que en adultos. Con estos datos cabría esperar que los individuos juveniles se alimentasen pastando. Sin embargo, el material encontrado en el intestino de un espécimen de *C. squamiferum* juvenil seccionado en serie contenía material similar al de los intestinos de individuos adultos. Asimismo, el intestino anterior del juvenil también estaba vacío y su glándula esofágica era proporcionalmente tan grande como en los adultos. Esto sugiere que *C. squamiferum* probablemente confía en sus endosimbiontes para la nutrición a lo largo de toda su vida post-larvaria (Chen *et al.*, 2015b).

Adaptaciones biológicas

Los metazoos en entornos de ventilación hidrotérmica dependen de adaptaciones morfológicas y fisiológicas para resolver sus necesidades energéticas en una cadena alimentaria basada en la quimioautotofia (Cavanaugh *et al.*, 1981; Van Dover, 2000; Watsuji *et al.*, 2014). Las principales adaptaciones de *C. squamiferum* son, en este sentido, sus endosimbiontes y su exoesqueleto.

El exoesqueleto proporciona protección ante las numerosas amenazas ambientales. Entre las diversas funciones de defensa destaca la protección mecánica de la concha, que es capaz de resistir los ataques de los depredadores. El mecanismo de defensa es sencillo: al ejercer fuerza sobre la concha en la capa externa de sulfuro de hierro se crean microfisuras que disipan la fuerza que ejerce el depredador. Estas microfisuras hacen que la superficie de la concha deje de ser lisa y se vuelva rugosa, con salientes que desgarran al depredador. Además, la capa media orgánica, que es esponjosa y gruesa, actúa como relleno y hace que se disipe aún más la energía mecánica, protegiendo de esta manera la capa frágil e interna de carbonato cálcico (Yao *et al.*, 2010).

Otra ventaja que supone presentar esta estructura externa en un medio hidrotermal es la capacidad de resistir los cambios bruscos de temperatura. En este medio se pueden alcanzar

temperaturas de hasta 370 °C, valores letales para muchos seres vivos. La capa intermedia orgánica del exoesqueleto, funciona como un aislante térmico, impidiendo que el animal muera (Nakamura & Takai, 2015).

Como ya se ha mencionado una de las adaptaciones más sorprendentes es la presencia de sulfuro de hierro tanto en la concha como en las escleritas. Atendiendo a la pureza y regularidad de los sulfuros de hierro, se sospecha un control biológico directo por este gasterópodo sobre su organización. Se trata, además, del único metazoo conocido por emplear sulfuro de hierro como material esquelético (Warén *et al.* 2003). Se cree que las escleritas podrían facilitar el acercamiento del gasterópodo a la fuente de nutrientes de sus endosimbiontes. Alternativamente, las escleritas pueden resultar de la deposición por parte de los endosimbiontes de residuos de sulfuro tóxicos y, por lo tanto, representarían una nueva solución para la desintoxicación (Chen *et al.*, 2015b).

Teniendo en cuenta el material inusual que conforma las escleritas y la posición filogenética del caracol, Warén *et al.* (2003) sugirieron que este mecanismo de protección evolucionó recientemente. Por lo demás, *C. squamiferum* tiene una branquia relativamente grande que no porta endosimbiontes, por lo que probablemente este tamaño se deba a la necesidad de satisfacer requerimientos respiratorios. Así, es probable que la ampliación de la branquia facilite la extracción de oxígeno de las condiciones hipóxicas características de los ecosistemas de ventilación hidrotermal (Van Dover, 2000; Chen *et al.*, 2015b). El sistema circulatorio, por su parte, contiene un enorme volumen sanguíneo y cuenta con un ventrículo muscular que extrae sangre de la elaborada branquia para abastecer a las bacterias (Chen *et al.*, 2015b).

Como vemos, las ventajas conferidas por la concha de este curioso gasterópodo son numerosas y podemos afirmar, después de todo lo explicado, que dicha estructura es multifuncional, y le posibilita prosperar en las duras condiciones de su ecosistema. Sin embargo, no está clara la función que tiene su exoesqueleto. Las adaptaciones sufridas por *C. squamiferum* según Chen *et al.* (2015b) han sido derivadas de la necesidad de albergar en su glándula esofágica endosimbiontes y, por lo tanto, puede afirmarse que este gasterópodo se ha convertido en un “buque de transporte” para la supervivencia y la propagación de sus bacterias endosimbiontes (Fig. 3).

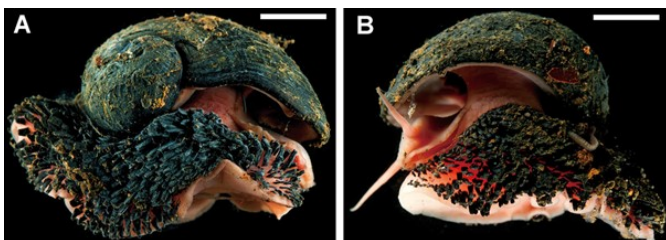


Figura 3. Fotografías de un individuo de *Chrysomallon squamiferum*. Se aprecia como la mayor parte de su cuerpo está recubierto para una mayor protección. Escala de las barras: A, B= 1 cm (Tomado de Chen *et al.*, 2015a).

Conclusiones

Chrysomallon squamiferum constituye uno de los ejemplos más impresionantes en cuanto a adaptaciones a medios extremos se refiere. Además de su interés biológico, dadas sus resistentes características, se ha pensado que esta especie podría servir de bioinspiración para el diseño de materiales con utilidad en ingeniería militar. A pesar de lo atractiva que resulta y de los estudios que se han llevado a cabo sobre ella, quedan aún lagunas en el conocimiento de la biología de esta especie.

Bibliografía

- Cavanaugh, C.M., Gardiner, S.L., Jones, M.L., Jannasch, H.W., Waterbury, J.B. (1981). Prokaryotic cells in the hydrothermal vent tube worm *Riftia pachyptila* Jones: possible chemoautotrophic symbionts. *Science* 213: 340-342. [DOI](#)
- Chen, C., Linse, K., Copley, J. T., Rogers, A.D. (2015a). The ‘scaly-foot gastropod’: a new genus and species of hydrothermal vent-endemic gastropod (Neomphalina: Peltospiridae) from the Indian Ocean. *J. Mollus. Stud.* 81: 322-334. [DOI](#)
- Chen, C., Copley, J. T., Linse, K., Rogers, A. D., Sigwart, J. D. (2015b). The heart of a dragon: 3D anatomical reconstruction of the ‘scaly-foot gastropod’ (Mollusca: Gastropoda: Neomphalina) reveals its extraordinary circulatory system. *Front. Zool.* 12: 13. [DOI](#)
- Gallant, R.M., Von Damm, K. L. (2006). Geochemical control on hydrothermal fluids from the Kairei and Edmond Vent Fields, 23° - 25°S, Central Indian Ridge. *Geo. Geophys Geosyst.* 7: 1-24. [DOI](#)
- Malacologia.ES (en línea) La concha in <http://www.malacologia.es/index.php/biologia/57-la-concha>
- Nakamura, K., Takai, K. (2015) Indian Ocean Hydrothermal Systems: Seafloor Hydrothermal Activities, Physical and Chemical Characteristics of Hydrothermal Fluids, and Vent-Associated Biological Communities. En: *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems*, J. Ishibashi, K. Okino, M. Sunamura, (eds.). Springer, Tokyo: pp 147 - 161. [DOI](#)
- Suzuki, Y., Kopp, R. E., Kogure, T. (2006). Sclerite formation in the hydrothermal-vent “scaly-foot” gastropod-possible control of iron sulfide biomineralization by the animal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 242: 39-50. [DOI](#)
- Uruchurtu, G. (2010) Estudiar la naturaleza para imitarla. ¿Cómo ves? 139: 10-14
- Van Dover, C. L. (2000). *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. Ed. Princeton: Princeton University Press.
- Warén, A., Bengtson, S., Goffredi, S. K., Van Dover, C. L. (2003). A hot-vent gastropod with iron sulfide dermal sclerites. *Science* 302:1007. [DOI](#)
- Watsuji, T-O., Yamamoto, A., Motoki, K., Ueda, K., Hada, E., Takaki, Y., Kawagucci, S., Takai, K. (2014). Molecular evidence of digestion and absorption of epibiotic bacterial community by deep-sea crab *Shinkaiia crosnieri*. *ISMEJ* 9: 821-831. [DOI](#)
- Yao, H., Dao, M., Imholt, T., Huang, J., Wheeler, K., Bonilla, A., Suresha, S., Ortiz, C. (2010). Protection mechanisms of the iron-plated armor of a deep-sea hydrothermal vent gastropod. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107: 987-992. [DOI](#)

La «revolución sexual» de los reptiles

Trabajo Zoología II.
Grado en Biología

Tutora y editora de los textos:
María Jesús Iglesias Briones

Departamento de Ecología y
Biología Animal

Almuíña Domínguez, I., Armesto Luaces, M., Blanco Vaqueiro, M., Bouzada Díaz, R., Fernández Gutiérrez, J., Fernández Varela, J., González Abalde, C., González Campos, C., Lagoa Núñez, A., Marra Fernández, J., Martínez Barreiro, I., Martínez Vaquero, C., Melón Raña, A., Ramos Gallego, E., Rodríguez Addesso, B., Seoane Liberata, C. y Vázquez Limia, C.

Resumen

Nacimientos sin necesidad de cópula previa, transexualidad, y temperatura de incubación gobernando la funcionalidad de las gónadas. La genética “pinta poco” en la vida sexual de los reptiles comparada con la de los humanos. Esto ha servido de inspiración a los alumnos de la materia *Zoología II: Invertebrados Artrópodos y Cordados*, para elaborar un monólogo científico que destacase alguna “habilidad” o algún aspecto del comportamiento reproductor de los reptiles y que sirviese para fomentar la “tolerancia” hacia la diversidad sexual y de género en la sociedad. En este documento se incluye una selección de los mejores monólogos (o fragmentos de ellos), en base a los contenidos y la redacción “teatral” (en sintonía con el espíritu humorístico de este tipo de formatos y que capta la atención del lector de principio a fin). Los párrafos escogidos han sido editados, intercalados y reorganizados con el fin de dar coherencia a todo el texto.

Introducción

El amor... que bonito sentimiento ¿no? Sentir que tienes a tu media naranja (aunque algunos o algunas te salgan limón), alguien a quien regalarle cursiladas, tener por fin algo que hacer el 14 de febrero, aunque solo sea para subir una foto a Facebook y que la gente no se piense que eres un/a loco/a de los gatos. Sí, sí, todo muy bonito hasta que se complican las cosas y, en menos que canta un gallo, pasas de ser el/la “más querido/a” a el/la “ex, querido/a”. Y, ¿a quién no le ha pasado? que rompes con tu pareja, y a la semana ya anda por ahí rondando ese pub tan popular de tu ciudad intentando cazar alguna presa y al que tú pensabas que no le gustaba ir.

Si señores, así es el amor, intenso pero a la vez fugaz. El concepto de amor es cada vez un concepto más moderno, ahora la gente dice que puede amar a más de una persona a la vez, que se pueden tener relaciones abiertas..., como los reptiles, que tienen un cerebro tan pequeño que no les llega para acordarse de con quién han copulado, ¡qué envidia!

Otros llevan el amor a solamente hacer el acto sexual, y bueno, todos tenemos que reconocer que el triki-triki no está nada mal, pero sinceramente creo que el amor es algo mucho menos superficial, ¿no? Aunque siguiendo con el ejemplo de los reptiles, como para no aficionarse a esto de copular. La fecundación es interna, ya que no necesitan agua para reproducirse; los machos poseen un pene simple (tortugas y cocodrilos), sin embargo, hay otros que tienen nada menos que dos hemipenes (serpientes y lagartos), y ¿qué mejor que en vez de uno tener dos? Otros no necesitan ni pareja para copular y se reproducen mediante partenogénesis, como por ejemplo algunos lagartos del orden Squamata. Perfecto para aquellos que no quieren tener pareja ni llegar a enamorarse nunca,

porque lo hayan pasado mal o porque no están hechos para tener una vida con acompañantes.

Los reptiles son un gran ejemplo a seguir para los humanos debido a la diversidad de formas diferentes de aparearse y copular, y aunque para nosotros esto de hacer el acto sexual no tenga siempre la finalidad de reproducirse y de preservar nuestra especie... deberíamos acostumbrarnos a que no todo el mundo tiene las mismas ideas, ni las mismas experiencias en el amor. Qué más da si a mí me gustan las mujeres y a ti los hombres, qué más da si a mí me gusta un pene y a ti dos, y que más le da al mundo que haya personas que no quieran compartir su vida con nadie. Deberíamos aprender de los reptiles.

Otro tema es la manera en la que los humanos camelamos a nuestro objetivo, y es que somos demasiado tradicionales, siempre lo mismo, unas flores, un piropo, un “¿quieres bailar?” No sé a vosotros, pero yo creo que la gente debería de ser más original. Como los reptiles. ¿Alguien de los presentes ha cambiado de color de piel como un camaleón para llamar la atención de una hembra (o macho)? ¿por qué no? o ¿ha desplegado las aletas situadas al lado del cuello? No lo creo... Tenemos que aprender de los reptiles.

Finalmente, la fecundación, algo divino para algunos y un infierno para otros. ¿Os imagináis poder elegir si quieres tener un o una bebé? Pues señores, tenemos que aprender de los reptiles. En su caso, dependiendo de la temperatura de incubación, las crías les saldrán hembras o machos. Esto podría ser un problema ya que entonces en África tan sólo habría machos en algunas especies y hembras en otras, y en la Antártida pasaría lo mismo. Pero, nos obligaría a movernos y mezclarnos más. Concluyendo señores, ¡tenemos que aprender de los reptiles!

¿Cómo ligan los reptiles?

Generalmente la vida de toda persona gira en torno a tres grandes eventos, nacer, reproducirse y morir. Nacer y morir son los pasos que tenemos garantizados, pero... ¿y ese paso que dirige y define la vida de muchos (en el caso de los machos, del total)? ¿Y ese paso que no está garantizado? Ese paso es la reproducción, fatídico evento que empuja a hormonales jóvenes de todas las especies a exhibirse y luchar por una, o si tienen suerte, varias parejas. Esto es lo que empuja a nuestros adolescentes a pavonearse por nuestras calles cual lagarto de gorguera tomando el sol en su piedra. Por suerte, nuestra especie no tiene los grandes volantes de piel de estos animales, de lo contrario, no se cabría un jueves por la noche por las calles de Vigo.

La reproducción desde el punto de vista de muchas hembras de reptiles ya empieza mal si tu pareja, para diferenciarte de un macho, tiene que frotar su barbilla contra tus costillas. No es broma, esto es algo que sufren muchas hembras de serpientes como las de la especie *Thamnophis sirtalis* (Fig. 1). Los machos realizan esta acción para captar las feromonas que liberan las hembras cuando se encuentran en las denominadas “bolas de acoplamiento”, que son exactamente eso, enormes bolas de varios individuos tratando de aparearse (hay muchos más machos que hembras y como resultado, una o dos hembras acaban rodeadas de diez o más machos). ¡Es una competición por ver quién se ha echado el perfume más caro!.



Figura 1. *Thamnophis sirtalis sirtalis* (Crédito foto: Wilson44691 - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10100793>).

Pero es que el perfume robado no tiene más función que ahuyentar a posibles competidores. ¿Y cómo lo hacen? Pues al pretender ser hembras los engañan para que intenten aparearse con ellos. La hembra “falsa” roba el calor de esos amorosos machos, que luego utiliza para dominarles y adquiere una mejor ventaja de emparejarse con éxito, con suerte, con una hembra real.

Pero además de correr el riesgo de ser aplastadas dentro de esas bolas de cortejo, ¡hablemos de la cópula en sí! A parte del hecho de que, por ejemplo, las serpientes tienen dos órganos copuladores, dos hemipenes, en muchas especies tienen espinas que usan para agarrarse mejor al interior del oviducto. ¡Espinass! Solo con decir eso ya se te pone la piel de gallina. Y si, además,

os digo que la cópula a veces dura más de una hora, y que alrededor de la pareja puede haber más machos que intenten arrancar al macho que está apareándose para intentarlo ellos... ¡Estoy segura que a la mayoría nos entran sudores fríos! Y es que la vida de una hembra de reptil no es fácil, así que no es de extrañar que muchas opten por almacenar el esperma varios meses o años y fecunden los óvulos secuencialmente para evitar copular de nuevo.

Sexo determinado por la temperatura de incubación

En la mayoría de especies animales la diferenciación sexual (el desarrollo de ovarios o testículos) viene determinada genéticamente (DSG). Sin embargo, en algunos grupos de reptiles el sexo de la descendencia está determinado por la temperatura de incubación de los huevos (DST). En el caso de los reptiles con DST, durante la incubación del huevo, hay un momento determinante para el individuo, el “periodo de incubación crítico”, en el que la temperatura tiene que ser constante, porque es cuando se produce la diferenciación del sexo. Este periodo suele durar entre 7-15 días hacia el segundo tercio del periodo de incubación, y suele ser irreversible. Esto quiere decir que, durante un periodo de la incubación, el embrión tiene la potencialidad de diferenciarse tanto en macho como en hembra. Vamos... que “de mayor pueden ser lo que quieran”. Y es aquí donde viene una similitud con humanos: durante el desarrollo del embrión humano hasta la semana 5, éste tiene potencial de desarrollar una anatomía masculina o femenina, pero en la semana 6, con el desarrollo de las crestas gonadales, se determina la formación de testículos o de ovarios. Es curioso pensar que durante un periodo de nuestras vidas algo que, a priori, es tan relevante como el sexo biológico, no se expresa. Y es, por tanto, el momento en el que queda de manifiesto que todos somos iguales...



Figura 2. *Sphenodon punctatus* (Foto tomada por Phillip Capper; imagen bajo licencia Creative Commons Attribution 2.0 Generic license).

Un ejemplo de reptil con DST son las tuataras (*Sphenodon punctatus* y *Sphenodon guntheri*), lagartos endémicos de los islotes e islas que rodean Nueva Zelanda (Fig. 2). El significado de su nombre común proviene del maorí y quiere decir "espalda

espinosa". Dependiendo de la temperatura de incubación de los huevos hay más o menos probabilidad de que la cría nazca hembra o macho. Así, a 21°C hay una probabilidad del 50% de que sea macho o hembra, a 22°C hay un 80% de probabilidades de que sean machos y a 20°C un 80% de que sean hembras. Por lo tanto, es tan sencillo como la variación en un par de grados para determinar el sexo. Extrapolémoslo a nuestra vida real. ¿Imaginas nacer en el norte de España y que la mayoría de la población sean mujeres? o por el contrario nacer en el sur y que solo haya hombres?

Transexualidad: dragones barbudos de Australia

En el desierto de Australia habitan las pogonas (*Pogona vitticeps*), unos lagartos de hábitos diurnos y arborícolas, que se caracterizan por presentar unas escamas puntiagudas debajo de la garganta, y de ahí su nombre (Fig. 3). Estos animales, al igual que el resto de reptiles, tienen un sistema dotación cromosómica sexual basado en los cromosomas ZZ (machos) y ZW (hembras). Sin embargo, al igual que el ejemplo anterior, el sexo puede variar con la temperatura de incubación independiente de los cromosomas que le hayan tocado. Sin embargo, en el caso de las pogonas, los huevos incubados a altas temperaturas, aun teniendo cromosomas masculinos ZZ, darán lugar a individuos con gónadas femeninas y los que se presenten con cromosomas ZW serán siempre hembras evitando así cruces de los que salgan individuos WW inviables y de sexo no definido (Holleley *et al.* 2015). Es decir, su sexo fenotípico es diferente a su sexo genotípico. Esto se debe a la actividad de la aromatasa, una enzima que transforma los andrógenos en estrógenos. Lo que era un macho puede pasar a hembra y además reproducirse y conseguir descendencia fértil. Por tanto, estos animales sólo muestran importancia por el “sexo actual” y no por el “anterior”.



Figura 3. *Pogona vitticeps*. (Crédito foto: Frank C. Müller, Baden-Baden - Own work, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2492192>).

Y este fenómeno de “sexo revertido” no es infrecuente, se da en el 20% de los individuos ZZ estudiados. A diferencia de las hembras ZW, las hembras ZZ se comportan como machos,

pero, por así decirlo, su reproducción sigue siendo femenina: ponen huevos, presentan gónadas femeninas (algo variables en su forma). Estas hembras “trans” exhiben un comportamiento mucho más audaz y más activo que el del macho promedio, y tienen mayores tasas de fecundidad. Además, esta descendencia es mayoritariamente hembras de su mismo genotipo, haciendo que la población esté feminizada, aunque se desconoce por el momento las posibles ventajas de este proceso.

Unisexualidad: lagartos de cola látigo (*Cnemidophorus lemniscatus* y *Apodoscelsis* sp.)

Cnemidophorus lemniscatus es una especie de lacértido con una amplia distribución geográfica en Sudamérica, desde Guatemala hasta Brasil (Leon & Cova 1973; Fig. 4), con poblaciones heterosexuales, requiriendo fertilización de ambos sexos. Sin embargo, en algunas poblaciones no hay machos y las hembras se reproducen por partenogénesis (que implica la posibilidad de generar descendencia sin fecundación previa). Este es un fenómeno muy frecuente en invertebrados, pero bastante raro en vertebrados. Citando textualmente al doctor Scott Heppell de la Universidad Estatal de Oregón: “Si no puedes reproducirte con éxito siendo macho cuando eres pequeño, entonces puedes maximizar tu vida reproductiva siendo hembra”.

La descendencia de las hembras partenogenéticas si reciben todo el material genético de la madre son clones. Sin embargo, en estas especies partenogenéticas de lagartos la meiosis comienza con una duplicación previa del número de cromosomas, permitiendo por tanto la formación de gametos sin reducción del contenido cromosómico (2n). Además, como el apareamiento meiótico tiene lugar entre los cromosomas duplicados, y no entre homólogos, se evita la pérdida de heterocigosidad (Lutes *et al.* 2010).



Figura 4. *Cnemidophorus lemniscatus* (Crédito foto: DiverDave - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14956966>).

Las hembras partenogenéticas “se visten” igual que los machos, crecen unos centímetros más hasta parecerse en tamaño a los machos y adquieren la coloración azul que, supuestamente, es exclusiva de los machos en esta especie (fig. 4). Al igual que ellos también se pelean entre ellas por la competencia sexual. Se cree que esto ocurre porque la producción de testosterona, la cual genera estos cambios fisiológicos y de comportamiento.



Figura 5. *Aspidoscelis tigris* (Foto tomada por Connor Long; imagen bajo licencia Creative Commons Attribution 2.0 Generic license).

Este comportamiento es similar al de los lagartos del género *Aspidoscelis* que se localizan en áreas desérticas de Asia y América del Norte (Fig. 5). Pero, para que estos lagartos se reproduzcan de forma eficaz requieren de un “abrazo” previo, al que los biólogos denominan pseudocópula: “Para que algunas especies partenogenéticas del género *Aspidoscelis* se reproduzcan, la cópula entre las hembras es obligatoria” (Santos 2007). Crews & Sakata, de la Universidad de Texas, en Estados Unidos, revelaron en el año 2000 que las hembras abrazadas presentaban un ciclo hormonal inverso, una con altos niveles de estrógeno, una hormona más abundante en las hembras, y la otra con altos niveles de testosterona, producida más profusamente por los machos.

Algunos autores denominan a este fenómeno “flexibilidad sexual”. Las hembras conciben crías de manera asexual, sin la participación de ningún macho. Son independientes, aunque no totalmente: en algunas especies, si un macho anda cerca, permiten la cópula y pueden ser fecundadas (Santos 2007).

Pero ¿por qué sucede esto? La respuesta es bastante fácil: el cerebro. Controla el comportamiento de apareamiento y produce cambio en las hembras adquiriendo patrones de comportamiento habitualmente asociados con los machos (Crews 1987; Crews & Sakata 2000). Esto refuerza la observación de que el cerebro está equipado con circuitos neuronales tanto para machos como para hembras, independientemente del sexo biológico. Al traducirlo a problemas humanos más recientes, podemos concluir que el género no es solo el sexo biológico, sino también cómo se conforma nuestro cerebro. Como dijo el activista Chaz Bono: “El género está entre las orejas y no entre las piernas”.

Tolerancia cero a la intolerancia

En muchas situaciones cotidianas se escucha decir “está bien, pero no es natural”, y se pueden referir tanto a elegir tarros de mermelada en el supermercado como a comportamientos sociales. Y ahí es donde surge una de tantas controversias existenciales. ¿Qué es lo natural? Obviamente, los que hablan de comida se refieren a productos naturales, sin sustancias químicas raras, edulcorantes, colorantes y conservantes

artificiales. Pero haciendo repaso a todos los enfrentamientos verbales con respecto a homosexualidad, transexualidad y mil y unas sexualidades siempre se argumenta que no es lo “natural”. Pero, ¿qué es lo natural?

Cada ser vivo muestra una identidad individual en su manera de enfrentarse a la vida. Algunos son monógamos/as, otros polinógamos/as, otros, soltero/a-nógamos/as. Otros dioicos/as o monoicos/as. Porque lo natural es la diversidad (la importancia de ésta ya nos lo demostró Carlos II...). Y como hemos visto aquí, nuestros primos lejanos los reptiles. Desde la reversión sexual, como el dragón barbudo australiano, la reproducción no fecundada (en diversas especies de lagartijas), hasta los que presentan receptáculos seminales, por lo que solo les hace falta copular una vez con un macho para tener reservas de esperma para varias puestas durante años (serpientes). Total, que como dice el nuevo éxito de “Lo Malo” ellas eligen el cuándo, el dónde y con quién.

Somos animales distintos, pueden argumentar algunos cansinos. Sin embargo, en el ser humano está demostrado que es posible poseer cromosomas XY y aun así tener características femeninas. Por tanto, es un error científico declarar la existencia de solamente dos sexos y mucho peor, un error social al decidir por un ser humano que apenas acaba de dar su primer aliento en el mundo real, cuál debe ser su sexo.

La feminidad o masculinidad “aceptada” es que las personas nacidas con genitales femeninos y aquellas con masculinos tienen que seguir el modelo físico convencional: pelo largo/corto, falda o vestido/pantalón, estar depilada/dejarse barba y un largo etcétera. Esta imagen externa reafirma los roles de género, es decir, la posición social que ocupa cada uno de ellos. Y en muchas cabezas lo “natural” es que los hombres mantengan relaciones sexuales con mujeres y viceversa, pues si no, eres ridiculizado/a, insultado/a, reprimido/a, menospreciado/a. Quizás es que se asocia el mantener relaciones sexuales con la reproducción, y en nuestro caso tiene que haber un sexo masculino y otro femenino, pero no nos engañemos, tú y yo sabemos que el 98% de las veces es por placer, así que es absurdo escandalizarse.

Lo cierto es que muchas personas no se identifican con su sexo de nacimiento, ya que no se ajusta a esos modelos establecidos, y necesitan cambiarlo. No para poder ser quién realmente son, si no para que la sociedad les acepte como tal. Según datos estadísticos una de cada 2000 personas en el mundo es transexual. Así que, para todos aquellos que sigan pensando que la transexualidad es un suceso antinatural ¿A alguien le incomoda o le parece mal que las poganos se cambien de sexo? Lógicamente no, ¿verdad? Entonces, ¿por qué existe una parte de la sociedad que todavía no acepta a los transexuales? ¿Por qué todavía, en el siglo XXI, se sigue marginando, humillando y despreciando a este colectivo? Hace relativamente poco tiempo, el autobús transfóbico de HazteOír.org creo bastante polémica entre la sociedad. A raíz de esta noticia en los telediaros en cada casa se podían oír distintos comentarios como “¡pobrecitos los transexuales, no entiendo por qué la gente no los acepta!” o “¡ay, cada uno que sea lo que quiera, que quiten ese autobús ya!”

Así que, aunque afortunadamente hemos avanzado notablemente en cuestiones de discriminación por sexo, transfobia, homofobia etc., aún estamos lejos de conseguir la igualdad deseada y la tolerancia hacia las minorías sociales, porque un porcentaje (todavía grande) sigue pensando que “vale, que cada uno haga lo que quiera, pero que no es algo natural”. Todos deberíamos reflexionar y asumir que no somos más que una mera consecución del azar y que todo podría haber sido diferente. Y es que ya lo decía Forrest Gump: “la vida es como una caja de bombones, nunca sabes lo que te va a tocar”, y es cierto. No sabes si te va a tocar ser un bombón rosa, uno azul o uno de los morados, pero en la vida como en la comida, en la diversidad está lo bueno.

¿Tanta diferencia creéis que hay entre machos y hembras cuando solo es un cromosoma algo diferente, o como en las tuataras, unos graditos de diferencia en la incubación de los huevos? O siguiendo el ejemplo de las pogonas, podríamos empezar a ver con naturalidad y tolerancia la idea que cada cual tenga de sí mismo, su propia consideración sexual. La transexualidad, al fin y al cabo, no es ni una degeneración del sexo del individuo, ni una enfermedad mental, ni una causa de aislamiento, sino que es valentía, decisión y diversidad. Yo cuando me paso con la temperatura solo se me tuesta un poco más la pizza, pero no deja de ser pizza, ¿verdad?

¿Qué más le da a la naturaleza la heterosexualidad, homosexualidad o incluso la bisexualidad? La biblia mismamente dice Adam y Eva, no Adam o Eva. ¿Qué clase de incoherencia moral puede tener la transexualidad cuando lo natural es que la designación de sexo quede, por ejemplo, a merced de algo tan banal y a la vez esencial como es la temperatura? Por lo tanto, antinatural no es ninguna de estas condiciones. Antinatural es imponer reglas irracionales a la vida de las personas, de las cuales no conocemos ni el nombre. Antinatural es asignar un orden establecido al caótico sentimiento del amor. De hecho, casi cualquier variante sexual y emocional practicada por el ser humano se puede encontrar en la naturaleza. Lo que es seguro es que el ser humano es la única especie en la que coexisten la homosexualidad y la homofobia.

¿Qué pasaría si no hubiera diferencias entre hombres y mujeres en el ser humano? ¿Habría desigualdades como en la actualidad? No lo sabemos, pero en este aspecto deberíamos aprender un poco de estos reptiles y aplicarnos el cuento. Últimamente se observan muchos casos de violencia doméstica y yo me pregunto: ¿Alguien le habrá explicado a esta gente violenta, hombres y mujeres que no respetan la diversidad de sexo, que podrían haber sido del sexo contrario por una mera casualidad? Y que, por el contrario, los reptiles han conseguido superar estas diferencias (de haberlas) hace ya miles de años.

¿No sería genial que nosotros también pudiéramos cambiar de sexo según factores ambientales? Muchos estarán en contra, es antinatural, dirán, pero a lo que a mí respecta, me parece muy curioso, ya que no todos serían ser machos ni hembras permanentemente, sino que nos situaría a los humanos en un ambiente más igualitario. ¿Os imagináis a un motón de gente poco agraciada y desesperada que no logra ligar ni a “picopala”, cambiándose de sexo por el hecho de intentar reproducirse con el otro género? Sería la solución perfecta para

Enrique San Francisco por ejemplo, aunque igual ahora lo pillaría un poco mayor...

Y es bastante triste que siendo los humanos una especie capaz de llegar a la luna, de clasificar todas las especies conocidas y de descifrar el código genético, no sea capaz de aceptar que independientemente de su sexo inicial una persona puede sentirse hombre o mujer y realizar una vida en base a ello.

El otro día estaba leyendo un libro en el que aparecía un personaje transexual. Su vida, con dificultades en el pasado, estaba ahora llena de felicidad. Hubo un fragmento que me llamó mucho la atención, y es que un día alguien le preguntó qué sexo tenía en ese momento, y contestó que “hoy se sentía como ella, pero que puede que mañana se sintiera como él”.

Bibliografía

- 1 Crews, D. (1987). Courtship in Unisexual Lizards: A Model for Brain Evolution. *Sci. Am.* 257: 116-121.
- 2 Crews, D., Sakata, J.T. (2000). Evolution of brain mechanisms controlling sexual behavior. En: Matsumoto, A. (Ed.). *Sexual differentiation of the brain*. Boca Raton: CRC Press: 113-130.
- 3 Holleley, C.E., O'Meally, D., Sarre, S.D., Graves, J.A.M., Ezaz, T., Matsubara, K., Azad, B., Zhang, X., Georges, A. (2015). Sex reversal triggers the rapid transition from genetic to temperature-dependent sex. *Nature* 523: 79-82.
- 4 Leon, J.R., Cova, L.J. (1973). Reproducción de *Cnemidophorus lemniscatus* (Sauria: Teiidae) en Cumaná, Venezuela. *Caribb. J. Sci.* 13: 63-73.
- 5 Lutes, A.A., Neaves, W.B., Baumann, D.P., Wiegraebe, W., Baumann, P. (2010). Sister chromosome pairing maintains heterozygosity in parthenogenetic lizards. *Nature* 464: 283-286.
- 6 Santos, R.M.L. (2007). *Estudos evolutivos em espécies de lacertílios brasileiros da família Teiidae (Squamata), com base em dados citogenéticos e moleculares*. Tesis Doctoral. Universidad de São Paulo, Brasil.

Micorrizas

Fonseca Silva, P.; González Abalde, C.; Silva Bea, S.; Touza Soage, P. y Trigo Viéitez, A.

Materia:
Botánica I
2º curso del Grado en Biología

pfonsecasilva96@gmail.com; crisglezabalde@gmail.com; sergiosilvabea@gmail.com; patouza@alumnos.uvigo.es; aliciatrigo31@gmail.com

Tutora:
Aida García Molares

Departamento de Biología Vegetal
y Ciencias del Suelo

Resumen

Se aborda el tema de la simbiosis micorrízica teniendo en cuenta los diferentes grupos de organismos implicados, su clasificación e influencia sobre la nutrición de las plantas micorrizadas. También se tratan aspectos como la inoculación forzada de hongos micorrízicos en plantas para reforestación, de interés creciente debido a su repercusión económica.

Summary

The topic of mycorrhizal symbiosis is addressed giving importance to the different groups of organisms involved, their classification and influence on the nutrition of mycorrhizal plants. Aspects such as the forced inoculation of mycorrhizal fungi in plants for reforestation, of increasing interest due to their economic repercussion, are also treated.

Introducción

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se establecen entre las raíces de las plantas vasculares y el micelio de ciertos hongos del suelo, tal y como lo define Barreno (2004). Se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres están micorrizadas, sin embargo, no todas las plantas aceptan la micorrización de igual modo, pudiendo encontrarse toda una gama de tolerancia al respecto. Algunas familias, entre las que destacan comelináceas y crucíferas, pueden crecer perfectamente en solitario; en otros casos, como las leguminosas o los cítricos, la asociación con hongos u otros microorganismos es esencial.

1. Diferentes grupos de organismo implicados

La mayoría de las plantas terrestres viven en simbiosis con hongos micorrízicos. Este tipo de asociaciones se encuentran en helechos, briófitos y plantas con semillas; sin los hongos las plantas no crecerían o lo harían muy precariamente.

Se cree que los hongos micorrízicos desempeñaron un papel fundamental en la colonización de la tierra por parte de los vegetales. Las asociaciones micorrízicas parecen ser resultado de procesos de coevolución; el registro fósil sugiere que las primeras plantas terrestres presentaban estructuras semejantes a las micorrizas vesículo-arbusculares. Al parecer, las ectomicorrizas surgieron cuando se incrementó el contenido en materia orgánica de algunos suelos antiguos y las micorrizas ericoides cuando aumentó la vegetación esclerófila como respuesta a suelos pobres.

A lo largo de la evolución se han desarrollado diferentes tipos de relaciones micorrízicas. En la actualidad, tal y como se explicará en el apartado siguiente de clasificación, existen diferentes asociaciones micorrízicas que han sido reconocidos

basándose en los tipos de hongos y plantas implicados y en las distintas morfologías desarrolladas en la asociación. Además de lo citado anteriormente, las micorrizas desempeñan un papel fundamental en el equilibrio de la vida microbiana. El crecimiento y la salud de las plantas se apoyan de muchas maneras en los microorganismos que forman la rizosfera, y la clave del crecimiento e interacciones entre estos microbios son los hongos micorrízicos. La rizosfera, o más apropiadamente, los microorganismos de la micorrizosfera, influyen en muchas reacciones químicas por medio de sus metabolitos, y las micorrizas juegan un papel crucial como mediadores de intercambio de sustancias entre ellos. Las micorrizas mejoran la salud y el desarrollo de las plantas, así como la calidad del suelo, de forma que alteran el ciclo de ciertos elementos químicos. El efecto de las micorrizas sobre otros grupos microbianos, como todo tipo de bacterias, incluyendo bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos, varía con cada especie de hongo. En definitiva, las micorrizas constituyen un elemento clave para mantener la viabilidad de las plantas, junto con los microorganismos asociados, que constituyen en su conjunto la base de la mayoría de los ecosistemas de la Tierra (Martínez & Pugnaire, 2009); (Breijó *et al*, 2003); (Varma, 1998).

2. Clasificación

Según Harley y Smith (1983), dependiendo de los caracteres morfológicos y anatómicos que desarrollan, además de la posición relativa de las hifas fúngicas respecto a las células de la raíz, así como los organismos que intervienen, se reconocen hasta siete tipos diferentes de micorrizas:

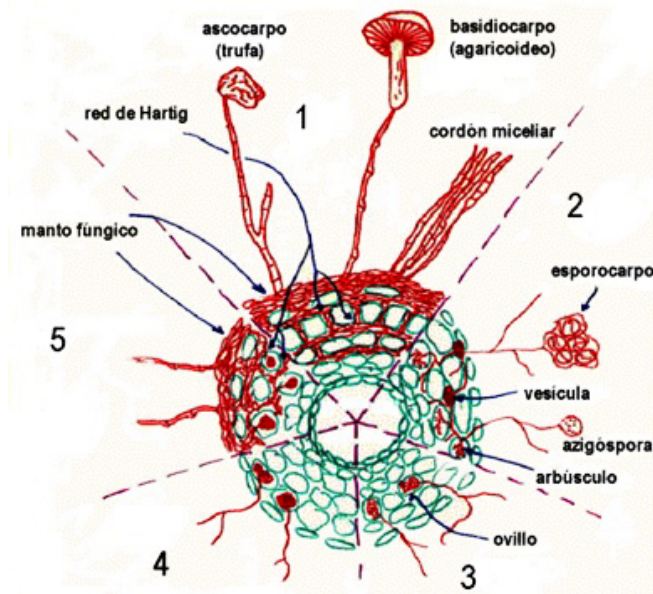


Figura 1. Principales tipos de micorrizas: 1. ectomicorrizas; 2. micorrizas vesículo-arbusculares (VA); 3. Micorrizas orquidoides; 4. Micorrizas ericoides; 5. Micorrizas arbustoides [tomado de Universidad de Almería (2017)].

2.1. Ectomicorrizas o micorrizas ectotróficas:

Son aquellas en las que el micelio fúngico no penetra en el interior de las células corticales de la raíz, sino que organiza una envoltura de las raíces afectadas (figura 1-1). Esta envoltura se denomina manto y desde ella crecen perpendicularmente hifas individuales o cordones de hifas que se introducen en el interior y se intercalan entre las células del córtex de la raíz (a través de la lámina media) formándose un entramado denominado “red de Hartig”. En este caso el micelio deja de estar tabicado (cenocítico), aumentando la superficie de intercambio.

La simbiosis ectotrófica sólo se produce en raíces secundarias, cortas y de crecimiento limitado. Al tiempo que se desarrolla la micorriza, el hongo segrega sustancias reguladoras del crecimiento que causan cambios en el desarrollo de la raíz, como hinchazón, menor longitud, ramificación y ausencia de pelos radicales. La función de los pelos radicales es asumida por el hongo micorrícico. Su morfología es característica del grupo vegetal que establece la simbiosis.

Las ectomicorrizas son muy variadas en cuanto a ramificación (simples, mazudas, dicótomas, pinnadas, coraloides, piramidales, etc.), color, forma, textura o abundancia del manto, pudiendo este último ser liso, reticulado, verrucoso, lanoso, algodonoso, fibroso, espinulado, etc. Las ectomicorrizas son relativamente poco frecuentes (3-5% de las plantas). Se dan en árboles, arbustos pertenecientes a las familias betuláceas, fagáceas, pináceas, salicáceas y tiliáceas, así como en algunas especies de ericáceas, juglandáceas, leguminosas, mirtáceas y rosáceas. Hay poca especificidad entre el micosimbionte y el hospedador.

2.2. Endomicorrizas o micorrizas endotróficas:

Son muy diversas morfológicamente, sin embargo, todas se establecen cuando el micelio fúngico penetra en el interior de

las células del córtex de la raíz, desarrollando un contacto muy estrecho. Los hongos implicados en este tipo de micorrizas son simbiontes obligados, sin hifas tabicadas y pertenecen al orden Glomales (Mucoromycota). Se encuentran muy extendidas dentro del mundo vegetal (90% de las plantas, especialmente herbáceas, leñosas o arbustos, muchas de ellas interesantes desde el punto de vista agrícola o forestal). Se suelen denominar vesículo-arbusculares (VA) (figuras 1-2 y 2) debido al tipo de estructuras que producen. Son el tipo más común y extendido.

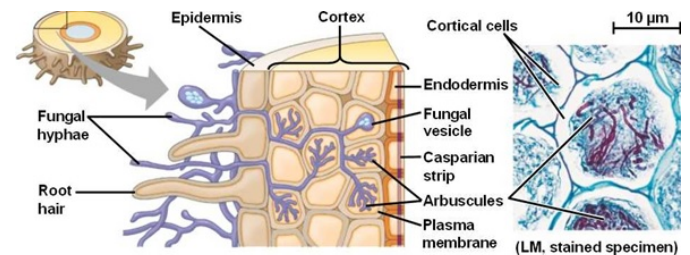


Figura 2. Esquema e imagen al microscopio óptico de un hongo micorrícico del tipo vesículo-arbuscular [tomado de Renato (2014)]

La infección se inicia tras la germinación de una espora; las hifas entran en contacto con una raíz receptiva y se extienden formando apresorios, disolviendo una porción de la pared de la célula con la que se estableció contacto. La penetración se produce a través de pocos puntos de la rizodermis, quedando sólo una pequeña porción de la raíz alterada. En las células del córtex de la raíz el hongo constituye arbusculos de hifas ramificadas, y en los estratos más internos el hongo forma vesículas ricas en lípidos, con paredes gruesas. Los denominados arbusculos deforman la pared y la membrana de las células de la raíz; provocan una aceleración del metabolismo celular y son los responsables del intercambio bidireccional de nutrientes entre simbiontes. El resto del micelio se encuentra en contacto con el suelo circundante, ramificándose varios centímetros desde la superficie externa de la raíz y su actividad facilita la absorción de agua y nutrientes minerales por parte de la rizodermis radicular. Externamente también se pueden formar vesículas y esporas. La especificidad por el hospedador es muy baja.

2.3. Ectoendomicorrizas:

Reúnen caracteres de los dos tipos principales: manto reducido, pero cuentan con una red de Hartig bien desarrollada, y penetración intracelular producida por medio de enrollamientos hifales (rizos o coils).

2.4. Micorrizas de Ericales:

Afectan a las plantas de dicho orden; se trata de plantas leñosas arbóreas o arbustivas que viven en suelos ácidos pobres en nutrientes. Estas micorrizas comprenden tres subtipos:

2.4.1. Micorrizas ericoides:

En este tipo los micobiontes más frecuentes son los ascomicetos (*Hymenoscyphus*) (figura 1-4). Las células del hospedante son invadidas por hifas intracelulares que forman

rizos típicos con invaginación de plasmalema. En la superficie de la raíz se forma una trama de hifas, pero sin originar un manto. La asociación está activa 3 o 4 semanas, y cuando la hifa degenera la célula radical infectada muere, por lo que este proceso está ligado al desarrollo de nuevas raíces.

2.4.2. Micorrizas arbutoides:

Son típicas de los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos*. Son semejantes a las citadas anteriormente, pero tienen manto y red de Hartig (figura 1-5).

2.4.3. Micorrizas monotropoides:

Presentes exclusivamente en plantas de la familia *Monotropaceae*, integrada por plantas carentes de clorofilas, por lo que dependen casi por completo del hongo asociado para obtener nutrientes. Los hongos que participan en la asociación son siempre del filo *Basidiomycota*. Las semillas de las plantas del género *Monotropa* son pequeñas y presentan dificultades para germinar en ausencia de hongos asociados. Por otro lado, se ha observado que el hongo que forma micorrizas monotropoides es capaz de colonizar las raíces de árboles cercanos y transferirle sus nutrientes.

2.5. Micorrizas de orquídeas:

Son típicas de las plantas de esta familia, como su nombre indica (figura 1-3). La infección se produce en un estadio muy temprano; las semillas tienen pocas reservas y cuando germinan ya cuentan con micorrizas que les aportan nutrientes. La hifa penetra en el hospedador y forma rizos muy ramificados de célula en célula mientras se está desarrollando la plántula, hasta que alcanza el tamaño necesario para realizar la fotosíntesis (la infección continua durante el crecimiento de la planta adulta). Muchos de los hongos implicados son basidiomicetos (*Armillaria mellea* (Vahl) P. Karst.) que utilizan la celulosa de las plantas leñosas para convertirla en carbohidratos utilizados por las orquídeas.

3. Estudios sobre la absorción de nutrientes en plantas micorrizadas y su incidencia sobre la morfología y la fisiología de la planta

Como hemos dicho en la introducción, la simbiosis entre el hongo y la planta acarrea para ambos ciertos beneficios: el hongo obtiene de la planta sustancias que por él mismo es incapaz de sintetizar, y la planta obtiene ventajas que veremos a continuación, tal y como señalan Martín (2011) y Blancol & Salas (1997).

Por una parte, el propio hongo aumenta significativamente la fertilidad del suelo. Entre los diversos beneficios cabe destacar la capacidad del propio hongo de estabilizar el suelo y mejorar su calidad; en un pequeño volumen de suelo podemos encontrar metros de micelio fúngico, formando una red difusa muy extensa. Además, éstos segregan una sustancia mucilaginosa llamada glomalina que, junto con la propiedad anterior, ayuda considerablemente a la compactación del suelo. Cabe destacar que tanto el micelio fúngico como la glomalina (con una estructura química semejante a la de los ácidos húmicos)

retienen grandes cantidades de agua, lo que contribuye a la mejora de la calidad del suelo, ya que contendrá mayor cantidad de nutrientes disueltos, y la resistencia al estrés hídrico de la planta.

La asociación micorriza-raíces actúa como un complemento de la planta: aumenta la superficie de intercambio de sustancias con el medio, provocando un aumento en la tasa de absorción de nutrientes esenciales para el desarrollo (Figura 3).

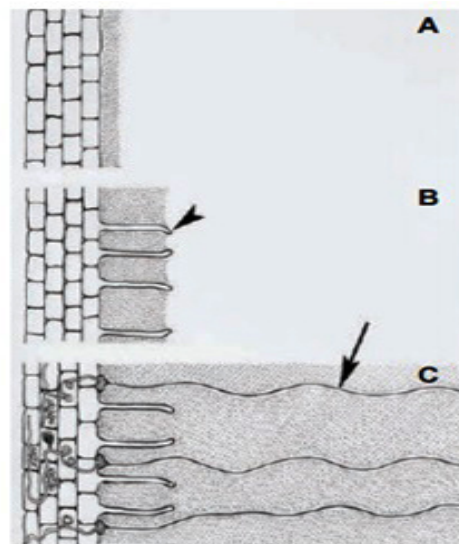


Figura 3. Comparación de una raíz desnuda (A), con una raíz con pelos radicales (B), y una raíz micorrizada (C). El área de la última es significativamente mayor [tomado de Asociación Vida Sana (en línea)].

Entre los principales nutrientes destaca el nitrógeno (N): la planta solo lo puede absorber en forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-), procedentes de la mineralización de la materia orgánica del suelo mediante un proceso denominado nitrificación realizado por microorganismos. En ese punto juega un papel importante el micobionte, pues es capaz de asimilar N en forma de compuestos orgánicos complejos insolubles y transformarlos en compuestos orgánicos solubles simples. La gran red difusa que forma el micelio aumenta significativamente la tasa de transformación de nitrógeno orgánico complejo a nitrógeno orgánico simple, además de que esta red alberga numerosas bacterias nitrificantes asociadas a la superficie de las hifas que favorecen el aporte, constituyendo un beneficio nutricional bastante significativo para la planta.

Suministro de P (mg/kg de suelo)	Peso seco (g por planta)		Contenido por gramo de materia seca							
			P (mg)		Cu (μg)		Zn (μg)		Mn (μg)	
	NM	M	NM	M	NM	M	NM	M	NM	M
0	1,25	2,8	0,61	1,73	3,3	10,3	21	44	366	111
60	1,61	3,21	0,75	2,09	3,7	7,9	27	35	515	109
150	1,85	3,42	0,81	2,08	2,9	6,3	30	36	412	115
270	2,78	3,83	1,4	1,79	3,5	4,6	29	33	556	123

Tabla 1. efecto del aumento de fertilizante fosforado y del contenido de nutrientes minerales en el crecimiento de los brotes de soja no micorrizal (NM) y micorrizada (M; *Glomus fasciculatum*). Traducido de Lambert & Weidensaul (1991).

Otro de los nutrientes que destacan es el fósforo (P): es un elemento poco móvil dentro del suelo, difícil de encontrar homogéneamente, procedente de materia orgánica. El aumento de la absorción del P por la planta tiene relación con la red

difusa citada anteriormente; es decir, aumenta el volumen de suelo explorado y la superficie de intercambio con el medio de tal manera que la planta tiene acceso a minerales de poca movilidad como el P, así como Cu, Zn, y Mn. Así lo afirman Lambert & Weidensaul (1991) en un estudio comparado (Tabla 1: efecto del aumento de fertilizante fosforado y del contenido de nutrientes minerales en el crecimiento de los brotes de soja no micorrizal (NM) y micorrizada (M; *Glomus fasciculatum*. Traducido de Lambert & Weidensaul (1991).), por lo que podemos afirmar que las plantas micorrizadas son capaces de resistir un estrés salino mayor.

El conjunto de beneficios nutricionales aportados por la micorriza a la planta provoca a nivel fisiológico un aumento de la actividad metabólica. Esto conlleva a un aumento de la tasa de crecimiento debido al aumento de la capacidad fotosintética y de síntesis de materia orgánica. Además, si el medio no supone un factor desfavorable, las plantas micorrizadas tienen mayor talla y mayor superficie foliar.

Lynch & Whipps (1990) verifican que el aumento de la síntesis de materia orgánica de la planta supone un beneficio para el hongo: los glúcidos obtenidos aumentan la tasa de crecimiento del propio hongo y contribuyen a la formación de esa red difusa que forma el micelio de una manera más amplia.

Al margen del tema nutricional, un factor considerable para la viabilidad de la planta es la resistencia al estrés biótico, causado principalmente por microorganismos patógenos, o por otras plantas u organismos que interfieran en su crecimiento y desarrollo. Las plantas micorrizadas ejercen un mayor efecto competitivo con respecto a plantas no micorrizadas en un mismo medio, por lo que podemos decir que, evolutivamente hablando, tienen un menor nivel adaptativo (esto explicaría la abundancia de plantas micorrizadas que existen). El incremento del aporte nutricional también supone un factor evolutivo importante: al estar mejor nutridas, éstas son más resistentes a microorganismos patógenos causantes de enfermedades. Esta resistencia se ve aumentada además gracias al propio hongo: ciertos grupos son capaces de producir antibióticos que evitan que el hongo se infecte, y por consiguiente también la planta. También la red difusa de hifas constituye una barrera física. Por último, cabe añadir que la microbiota asociada a las hifas del hongo y a las raíces de la planta supone un factor competitivo ante otros microorganismos no deseados, aumentando potencialmente la resistencia de la planta.

4. Inoculación forzada de las plantas utilizadas en reforestación

Las ectomicorrizas son muy importantes en la práctica forestal. Muchos autores, como Pardos (1962) y Pera & Parladé (2005) afirman que los graves problemas de crecimiento de las plantas en viveros estaban asociados a su escasa micorrización. Por esta razón son muchos los estudios dirigidos a manipular la simbiosis para reforzar la productividad en programas de reforestación (Domínguez Núñez, 2002, Brundrett *et al.* 1996). En general, esto se aplica a los programas de reforestación o a plantas utilizadas para producción vegetal, debido a que en ambos casos existe una fase de vivero, momento en el que es

fácil el establecimiento mediante biotecnología de hongos micorrícicos (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 1999).

La reforestación se vuelve importante para los ecosistemas ya que permite proteger el suelo de la erosión, además de mantener la biodiversidad de las plantas. Suele aplicarse para casos en los que las plantaciones se ven dañadas debido a la sobreexplotación, incendios forestales, catástrofes ambientales, etc. La eficacia en repoblación forestal de los hongos simbióticos, tanto si su presencia es natural como inducida biotecnológicamente, ha sido demostrada. Entre los estudios llevados a cabo en nuestro país podemos destacar el trabajo de De Vicente López *et al.* (2005), en el que estudiaron zonas forestales que habían sido repobladas a lo largo de la década de los 90 con *Pinus halepensis* Mill. tras una época en la que se habían producido incendios reiterados en la comunidad valenciana. Para ello, analizaron la presencia y la diversidad de inóculo micorrícico en el suelo, así como su relación con el éxito y supervivencia de las poblaciones de pino. Los resultados confirmaron que cuanto mayor era la cantidad y diversidad de hongos micorrícicos en el suelo, mejores resultados se obtenían en la reforestación de esa zona. Cabe resaltar que este trabajo resaltaba también la variabilidad del inóculo. Esto es importante, ya que cada especie de planta dentro de un ecosistema tiene más probabilidades de establecer una simbiosis con unos hongos que con otros. Este tipo de relaciones están bastante estudiadas. Peredo, *et al.* (1992) estudiaron los efectos de la inoculación de *Pinus ponderosa* Douglas *ex* C. Lawson con distintos hongos micorrícicos; en concreto se inocularon con cultivos puros de *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch, *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke, *Hebeloma crustuliniforme* (Bull. *ex* St. Amans.) Qué., y *Thelephora terrestris* Ehrh. Tras analizar los resultados, observaron que en los ejemplares inoculados con *Thelephora* y *Pisolithus* existía un grado de micorrización mayor, además de que las plantas presentaban un tallo más largo, ratio peso seco tallo/peso seco raíz mayor, y mejor índice de calidad nutricional. Sin embargo, *Laccaria* no era efectiva a la hora de aumentar las propiedades de las plantas. Marx (1980) y Mikola (1973) demostraron la eficacia e importancia de la inoculación artificial en tareas de recuperación de zonas muy deterioradas o en la introducción de especies exóticas.

La cubierta vegetal protege el suelo frente a la erosión, por lo que la repoblación forestal se convierte en una de las soluciones más eficaces. El tratamiento previo del suelo es muy importante para que la repoblación sea efectiva, tal y como lo indica Roldán *et al.* (1997) en su estudio sobre repoblación forestal con *Pinus halepensis* en el sureste de España. Se ha demostrado también que en zonas en las que se preparaba el suelo mediante métodos físicos y/o adición de sustratos orgánicos, los tratamientos de micorrización fueron particularmente efectivos, ya que se creaban condiciones favorables para la infección de la planta. Por otro lado, también mencionan que fue más efectivo el tratamiento en las plantas que fueron inoculadas en vivero.

Las técnicas que se han usado con mayor frecuencia para la producción de inóculo son: micelio del hongo desarrollado en un sustrato enriquecido con solución nutritiva, micelio del hongo encapsulado en polímeros de alginato, o suspensiones de

esporas en distintos medios, ya sean sólidos o líquidos (Parladé *et al.*, 1993, Pera & Parladé, 2005). La forma en que se cultive el inóculo aplicado en laboratorio influye en la efectividad de la inoculación controlada de las plantas de vivero. Así, utilizando tres tipos de inóculo del hongo ectomicorrícico *Pisolithus tinctorius*: micelio desarrollado en un sustrato de turba y vermiculita con medio nutritivo, micelio del hongo encapsulado en un polímero de alginato, y basidiosporas obtenidas de carpóforos recolectados en campo, para la micorrización de *Pinus pinaster* Ait. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, se demostró que solo con uno de ellos se conseguía la micorrización de ambas plantas, mientras que con las otras se conseguían resultados favorables únicamente para una o ninguna de las especies de planta (Pera & Parladé, 2005).

También es útil comprobar en qué casos es más necesario realizarla. Con respecto a esto, Brundrett *et al.* (1996), propusieron un diagrama de flujo (figura 4) en el que exponen los pasos a seguir en un proceso de decisión que podría ser usado para evaluar los beneficios potenciales de la micorrización artificial en una situación específica. Solo debería ser necesario manipular plántulas mediante estas técnicas o realizar prácticas de manejo que modifiquen el ambiente si se esperan beneficios substanciales de estas manipulaciones.

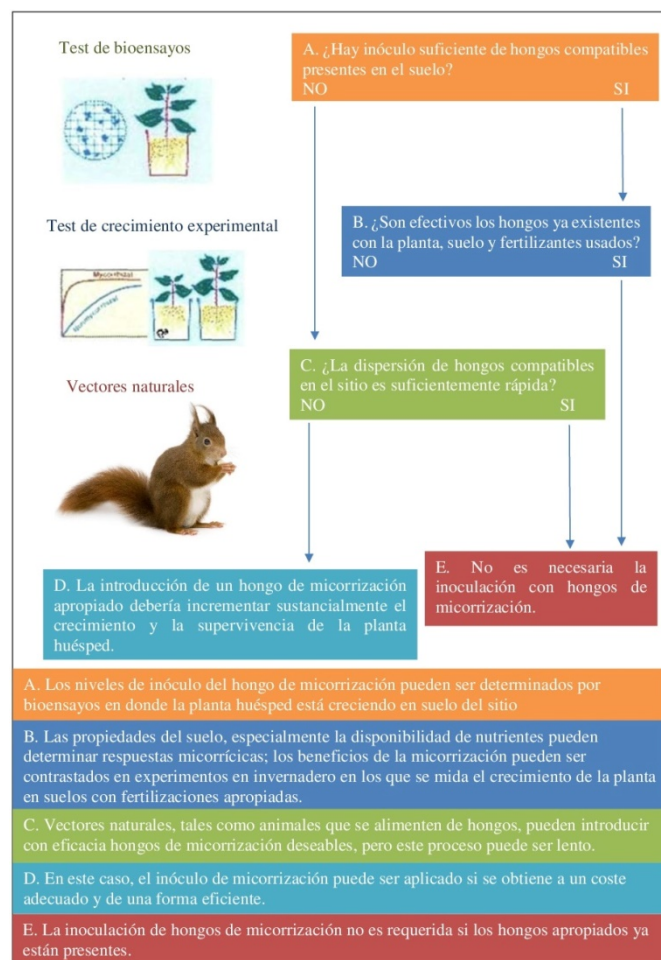


Figura 4. Toma de decisiones en ensayos de micorrización artificial [basado en Brundrett *et al.* (1996)].

5. Rentabilidad

El uso de las micorrizas podría ser un buen sustituto o alternativa a la utilización de abonos minerales, al tiempo que generaría importantes beneficios económicos.

En lo que se refiere a la rentabilidad, se pueden obtener beneficios directos, produciéndose un aumento en la producción de setas, madera, frutos, y puestos de trabajo. Además, cabe destacar los beneficios indirectos, como el micoturismo, y su consiguiente repercusión en los sectores de la hostelería, comercio, etc, e incluso un beneficio indirecto para los vendedores de herramientas de recolección y ropa deportiva, museos, certámenes y ferias.

El aprovechamiento de setas, considerado una actividad complementaria a la actividad principal, puede superar en ingresos a la producción de madera y frutos, como en el caso de las trufas, boletos y nísalos o robellones.

En conclusión, el uso de micorrizas tiene gran importancia económica, no solo por el incremento de los ingresos directos que supone la comercialización de las setas o los generados de forma indirecta por el micoturismo, sino también por la disminución de los gastos, ya que no será necesario utilizar abonos, herbicidas, riego, y numerosos elementos. (Hifas da Terra S.L., en línea), (EcoAgricultor, en línea). En Galicia, la empresa Hifas da terra, S.L., dedicada al cultivo y comercialización de setas y otros elementos relacionados con su producción, vende alrededor de 50.000 plantas al año, de las cuales aproximadamente 41.000 corresponden a árboles micorrizados (unos 24.000 castaños, 2.000 frondosas y 15.000 coníferas). Las frondosas las comercializan micorrizadas con *Boletus edulis* y las coníferas con diversas especies de *Lactarius* o *Boletus edulis*, indistintamente. No solo abastecen el mercado nacional, sino que también venden sus productos en otros países europeos (Portugal, Francia, Italia, Gran Bretaña), China, EEUU, algunos países de Sudamérica y Australia. Calculan que 1 Ha dedicada al cultivo de castaño micorrizado con *Boletus edulis* produce anualmente 3000 Kg de castañas (1,5 euros/Kg), 150 Kg de setas (10 euros/Kg) y 5 m³ de madera (15 euros/Kg)..

Bibliografía

- Cavanaugh, Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17(3): 179-191.
- Asociación Vida Sana (en línea). *Microorganismos del suelo y biofertilización*. Revisado el 16 de noviembre de 2017
In <http://studylib.es/doc/4577247/microorganismos-del-suelo-y-biofertilización>
- Barreno, E. (2004). Hongos simbiotes: líquenes, micoficobiosis y micorrizas. Izco, J. (Ed.). *Botánica*. 316-319 (2ªed.) Madrid: Mc. Graw-Hill Interamericana.
- Blancol, A.F., Salas, A.E. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 21(1): 55-67.
- Breijo, F.G., Reig, J., Ibars, A., & Estreller, E. (2003). *La evolución de la simbiosis micorrícica*. Revisado el 17 de noviembre de 2017

- In https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Garcia_Breijo/publication/203640256_La_evolucion_de_la_simbiosis_micorrizica/links/00b495293325d6e072000000.pdf
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. *Australian Centre Internat. Agr. Research Monograph* 32.
- De Vicente López, J., Domínguez Núñez, J. A. & Rodríguez Barreal, J. A. (2005). *Micorrizas en repoblaciones efectuadas en zonas degradadas por incendios forestales en la comunidad valenciana*. Conference IV Congreso Forestal Español. Zaragoza.
- Domínguez Núñez, J. A. (2002). *Aportaciones de la micorrización artificial con trufa negra en planta forestal*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural (Universidad Politécnica de Madrid).
- EcoAgricultor. *Las Micorrizas, los biofertilizantes naturales del suelo*. Revisado el 15 de noviembre de 2017
In <https://www.ecoagricultor.com/las-micorrizas-los-biofertilizadores-naturales-del-suelo/>
- Harley, J.L. & Smith, S.E. (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Toronto: Academic Press.
- Hifas da Terra S.L. (en línea) *Castaños y árboles micorrizados que producen setas*. Revisado el 15 de noviembre de 2017
In <https://www.hifasdaterra.com/castanos-micorrizados-que-producen-setas/>
- Lambert, D.H. & Weidensaul, T.C. (1991). Element uptake by mycorrhizal soybean from sewage-sludge-treated soil. *Soil Science Society of America Journal* 55: 393-398.
- Lynch, M. & Wipps, J.M. (1990). Substrate Flow in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 129, pp.1-10.
- Martín, A.A. (2011). *Efectos de la inoculación del hongo de micorrización Tuber melanosporum y la rizobacteria Pseudomonas fluorescens en la calidad de la plántula Pinus halepensis*. Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.
- Martínez, L.B., & Pugnaire, F.I. (2009). *Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos*. Revisado el 17 de noviembre de 2017
In <https://www.ecoagricultor.com/las-micorrizas-los-biofertilizadores-naturales-del-suelo/>
- Marx, D. H. (1980). Ectomycorrhizal fungus inoculations: a tool for improving forestation. [In: *Tropical mycorrhiza research*. (P. Mikola, Ed.)] Oxford: Oxford University Press. pp. 13-71.
- Mikola, P. (1973). Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. [In: *Ectomycorrhizae*. (Marks, G.C., & Kozlowsky, T.T., Eds)] London: Academic Press. pp. 383-411.
- Pardos, J. A. (1962). Estudio sobre micorrizas en pinos. *Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias* 7: 141-176.
- Parladé, X., Pera, J. & Álvarez, I. F. (1993). Técnicas de inoculación de plantas de repoblación con hongos ectomicorrícicos seleccionados. [In: *congreso forestal español Lourizán 1.993. Ponencias y comunicaciones*.] 3: 385-389.
- Pera, J. & Parladé, J. (2005). Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 14(3): 419-433.
- Peredo, H. L., Alonso, O. & Valenzuela, E. (1992). Inoculación micorrízica de Pinus ponderosa en el vivero forestal de Juninde los Andes, Argentina. *Ciencia e Investigación Forestal* 6(2): 157-167.
- Renato, M. (2014) *El parásito que se convirtió en aliado*. Revisado el 15 de noviembre de 2017
In <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/medicina-y-biologia/53/posts/el-parsito-que-se-convirti-en-aliado-12407>
- Roldan, A., Querejeta, J. I., Albaladejo, J. & Castillo, V. (1997). Efecto combinado de la preparación del suelo y micorrización en el desarrollo de una repoblación con *Pinus halepensis* Mill. en condiciones semiáridas In: *II Congreso Forestal Español, Pamplona (Sociedad Española de Ciencias Forestales)* pp. 567-572.
- Universidad de Almería. (2017) *Myco-UAL: Micorrizas*. Revisado el 13 de noviembre de 2017 In <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>.
- Varma, A. (1998). *Mycorrhiza Manual*. Barcelona: Ed. Springer Lab Manual.

Setas tóxicas

Panebianco Barreiro, A.; Rafael Vidal, C.

Materia:
Botánica I
2º curso del Grado en Biología

Tutora:
Aída García Molares

Departamento de Biología Vegetal
y Ciencias del Suelo

anto.p.b@hotmail.com; carlosuvigo@gmail.com

Resumen

En este trabajo bibliográfico se indican distintos aspectos relevantes en lo que se refiere a las setas tóxicas. Por un lado, se resumen las principales setas tóxicas presentes en Galicia (especie, síndrome producido, localización...) y por otro, se incluye una explicación de las toxinas presentes en ellas, acompañado de un breve análisis químico de las mismas. Por último, se estudian los síndromes producidos por micetismos.

Introducción

Una clasificación apropiada para abordar las setas sería analizar los diferentes tipos de hongos. Las setas se incluyen en los filos Ascomycota y Basidiomycota, y dentro de éstos se encuentran hongos filamentosos pluricelulares, mono o dicarióticos, con pared celular de quitina, glucógeno como substancia de reserva, reproducción sexual por esporas gaméticas y capaces de producir estructuras sexuales en carpóforos (hipo o epígeos) visibles a simple vista, es decir, setas. La gran mayoría de las setas son representantes del filo Basidiomycota, aunque también hay setas pertenecientes a Ascomycota.

La estructura de este trabajo incluye las setas tóxicas más comunes en Galicia, las toxinas presentes en ellas y la clasificación de los síndromes.

Se decidió realizar este trabajo bibliográfico para aunar en un mismo artículo las principales setas tóxicas presentes en la Comunidad Autónoma Gallega, las toxinas que presentan y los síndromes que generan los micetismos. Por otro lado, la recopilación tiene como objetivo divulgar e informar sobre las setas tóxicas presentes en dicha comunidad.

En este sentido, existen diversos libros y artículos que describen y analizan las setas presentes en Galicia (tanto tóxicas como comestibles) como el de Marcote *et al.* (2003) o el de Castro & Román (2006).

Metodología

La búsqueda de las fuentes bibliográficas se realizó en distintas bases de datos como *Scopus* o *PubMed* y consultando fuentes bibliográficas presentes en la biblioteca de Ciencias de la Universidade de Vigo.

El conjunto de fuentes empleadas aparece citada en el texto y se muestra en el apartado Bibliografía.

Especies de setas tóxicas de Galicia

Brincabois, *Amanita muscaria* (L.) Lam. (fig. 1)



Figura 1. *Amanita muscaria* (L.) Lam.

Es la seta más representada en las historias infantiles, tanto por su aspecto llamativo como por los efectos que produce. Al consumirla, los objetos se ven coloreados de rojo y de mayor tamaño.

Posee propiedades enteogénicas, que se relacionaron con usos tribales en diversos lugares del mundo, entre ellos en Siberia. De hecho, el nombre popular gallego es dado porque, según leyendas populares, cuando las vacas la consumen sufren una excitación como si estuvieran en celo. Además, es una especie tóxica que provoca fuertes gastroenteritis y sueño profundo, que dura varias horas, por ello se ha comercializado para matar moscas, de ahí deriva el nombre de matamoscas. Para este uso se añadía un poco de la cutícula en leche azucarada, las moscas bebían de ella y, teóricamente, morían, aunque en realidad caían al suelo profundamente dormidas (Castro & Román, 2006).

Seta cicuta, *Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.) Link. (fig. 2)**Figura 2.** *Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.) Link.

Se trata de una de las más peligrosas que se pueden encontrar en nuestro país: sólo 50 g pueden causar la muerte de una persona de 60 kg. Es muy abundante durante el otoño, tanto bajo los árboles de hoja caduca (robles, castaños, abedules, etc.) como coníferas (pinos, abetos, etc.). El pie, de color blanco, tiene una volva en forma de saco y un anillo péndulo, muy característicos; el sombrero es muy variable de color, va de blanco a verde oliva, pasando por amarillo o verde claro. Es extremadamente peligrosa porque es carnosa, con mucho jugo y sabor agradable. Se ha escrito que el emperador Claudio fue envenenado con esta seta, mezclada con la de los césares (*Amanita caesarea* (Scop.) Pers.). Los ejemplares más viejos huelen a flores secas (Castro & Román, 2006).

Seta de Porriño, *Amanita porrinensis* L. Freire & M. L. Castro ex M. L. Castro (fig. 3)**Figura 3.** *Amanita porrinensis* L. Freire & M. L. Castro ex M. L. Castro.

Esta curiosa seta sólo fue recolectada en Galicia, Italia y Suiza, y el nombre fue dado en honor del Grupo Micológico de Porriño, ya que fue encontrada por uno de sus socios y ha sido descrita para la ciencia por micólogos gallegos. La forma es

muy particular, ya que el sombrero tiene forma de campana en los ejemplares jóvenes y luego se abre un poco por el margen. Es una seta completamente blanca, tanto el pie como el sombrero. Tiene un anillo y una volva muy fugaces. A pesar de esta apariencia inocente, es una seta tóxica, ya que contiene amanitinas. Se encuentra en el otoño, a partir de mediados de octubre hasta mediados de noviembre, bajo robles y pinos. Es muy escasa y rara (Castro & Román, 2006).

Cicuta blanca o ángel de la muerte, *Amanita verna* (Bull.) Lam. (fig. 3)

Vive en primavera sobre suelos húmedos en bosques de todo tipo. Es solitaria o se encuentra en pequeños grupos y poco común, pero abundante donde fructifica. Consumida puede resultar mortal, ya que posee los mismos principios activos que *Amanita phalloides*, mencionada anteriormente. Es toda ella blanca, aunque tiene una mancha ocre en el centro del sombrero. Su carne es blanda y frágil (Marcote et al., 2003).

Champiñón cheirento, *Agaricus xanthodermus* Genev.

Su color presenta tonalidades intermedias entre blanco y amarillento, dependiendo de la variedad. Se localiza en los prados y en los límites de los terrenos. Presenta un olor fuerte a fenol en la base del pie, amarillea intensamente al tacto. Produce gastroenteritis (Castro & Román, 2006).

Lepiota pardo rojiza, *Lepiota brunneoincarnata* Chodat & C. Martin. (fig. 4)**Figura 4.** *Lepiota brunneoincarnata* Chodat & C. Martin.

Muy tóxica, puede causar la muerte, ya que contiene amanitinas. Se encuentra en los meses de verano y otoño, tanto en bosques caducifolios como en parques y jardines. Es peligrosa porque a veces presenta sabor agradable y olor afrutado; sin embargo, en otros casos resulta desagradable desde el principio. Tiene pequeño tamaño, rara vez llega a 5 cm de diámetro. El sombrero de los ejemplares jóvenes es convexo, luego se aplanan y conserva en el medio un umbo pardo vinoso o gris oscuro. Toda la fructificación es blanca rosada, aunque el sombrero tiene numerosas escamas concéntricas de color pardo vino, de ahí el epíteto específico "brunneoincarnata". El pie, de color rosa crema, con numerosas escamas pardas en la mitad inferior, conserva un anillo membranoso, persistente, rara vez

fugaz. No tiene volva y las láminas son de color blanco (Castro & Román, 2006).

Cortinario dorado, *Cortinarius cinnamomeus* (L.) Gray.(fig.5)



Figura 5. *Cortinarius cinnamomeus* (L.) Gray.

Ya bien entrado el otoño y a principio de invierno es frecuente encontrar bajo pinos algunas pequeñas setas de entre 2 y 4 cm. de diámetro, de color pardo teja, láminas amarillo dorado y un pie más o menos pardo. Esto se corresponde con especies del género *Cortinarius* y subgénero *Dermocybe*. No tienen olor particular y son ligeramente amargas, además algunas de ellas son muy tóxicas. Tienen hepatotoxinas. Si se consumen en cantidad y/o durante varios días puede causar insuficiencia hepática y la muerte del consumidor (Castro & Román, 2006).

Seta de los caballeros, *Tricholoma equestre* (L.) P. Kumm. (fig. 6)



Figura 6. *Tricholoma equestre* (L.) P. Kumm.

Esta seta tiene el sombrero viscoso de color amarillo, aplanado, con umbo central ligeramente más oscuro. Las láminas son intensamente amarillas, escotadas cerca del pie, que es de color blanquecino con fibras pardas. La carne es de color amarillo, huele y sabe algo a harina, por lo que fue utilizada como comestible de buena calidad. El nombre popular se refiere a que

era consumida por los caballeros; sin embargo, en los últimos años se descubrió que podría causar rabdomiolisis (enfermedad muscular) en personas sensibles, después de un consumo continuado, e incluso causarles la muerte, por lo que se recomienda no consumirlo. Se prohibió su comercialización y la de las especies próximas por su posible confusión (Castro & Román, 2006).

Falsa pardilla, *Entoloma sinuatum* (Bull.) P. Kummer (= *Entoloma lividum* Quéél.) (fig. 7)



Figura 7. *Entoloma sinuatum* (Bull.) P. Kummer (= *Entoloma lividum* Quéél.).

Es una especie poco frecuente en Galicia. Vive en los bosques de árboles de hoja caduca durante el otoño. Es carnosa, con el sombrero convexo y el borde enrollado, de color ocre. Las láminas son escotadas, de color blanco al principio, luego rosadas. El pie es blanco. Es una especie tóxica y provoca fuertes gastroenteritis y, en personas sensibles o niños, puede llegar a causar la muerte. Es muy característico su olor fuerte a harina, lo que también hace que sea confundible, en algunas zonas de España, con el "perretxico" o "seta de San Jorge" (*Calocybe gambosa* (Fr.) Donk), que es comestible y nace en primavera, alrededor del día de San Jorge, de ahí el nombre popular, en prados con sustrato calcáreo, o por lo menos básico (Castro & Román, 2006).

Paxilo *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. (fig. 8)



Figura 8. *Paxillus involutus* (Batsch) Fr.

Sombrero con umbo redondeado, color pardo amarillento, cutícula fácilmente separable. El borde es fuertemente incurvado, estriado en ejemplares adultos, y el pie, cilíndrico, es corto y, a veces, excéntrico. Las láminas de color amarillo opaco están anastomosadas y forman poros en la zona que desciende por el pie, del que se separan con facilidad, simplemente presionando con el dedo. La carne es suave, de color amarillento, sin olor y con sabor agradable. En algunos lugares la comen guisada después de escaldarla varias veces; sin embargo no se recomienda su consumo, ya que además de ser de baja calidad, puede causar embolias grasas y, por lo tanto, la muerte. Se encuentra todo el año, con mayor frecuencia en el otoño, bajo cualquier tipo de árbol (Castro & Román, 2006).

Toxinas más importantes presentes en los hongos

a) Amatoxinas. Son altamente tóxicas, para humanos y diversos animales, ya que los péptidos tóxicos inhiben la ARN polimerasa II de las células eucariotas, provocando un descenso de la síntesis de ARNm en las primeras 24 h, bloqueo de la síntesis proteica y muerte celular (Wieland et al., 1978; Karlson-Stiber & Persson, 2003). Geográficamente, en Europa es donde mayor número de intoxicaciones se dan al año. Cuando un paciente está intoxicado con amatoxinas se puede detectar en plasma y orina.

Entre los fallos funcionales que producen se encuentran: gastroenteritis severa, fallo renal, diarrea acuosa o hepatitis crónica. Algunas especies de los géneros *Amanita* y *Lepiota* las presentan, pero la intoxicación más común es provocada por *Amanita phalloides*. El lavado gástrico es una de las primeras opciones a practicar. Por otro lado, se ha demostrado la eficacia de la bencipenincilina (o penicilina G) en la inhibición de la captación de amatoxinas a nivel hepático (Karlson-Stiber & Persson, 2003), así como cualquier otro protector de los hepatocitos para las personas alérgicas a este medicamento.

b) Psilocina y psilocibina. La estructura de estas toxinas es muy similar a la mescalina. Produce un efecto tanto alucinógeno como morfínico, siendo la triptamina el componente activo más importante en la psilocina (Käferstein & Sticht, 2000).

La psilocina actúa sobre los receptores serotoninérgicos y ello desencadena diferentes síntomas como dilatación pupilar, alteraciones de conciencia como trastornos del corazón, miedo o vergüenza. Se han descrito casos de esquizofrenia y psicosis (Wieczorek, 2014).

Psilocina y psilocibina se encuentran en varias especies de los géneros *Conocybe*, *Inocybe* y *Psilocybe*. En general, existe amplitud de respuestas clínicas para resolver las situaciones de intoxicación (TOXNET Database, 2015).

c) Orellanina y cortinarina. Son las toxinas responsables de la intoxicación orellánica (hepatotóxica). Ambas son producidas por especies del género *Cortinarius*, como *C. rubellus* Cooke, *C. orellanus* Fr., *C. splendens* Rob. Henry, *C. sanguineus*

(Wulfen) Gray, *C. semisanguineus* (Fr.) Gillet, etc. (Karlson-Stiber & Persson, 2003).

Las cortinarinas (A, B y C) son de naturaleza ciclopeptídica e impiden la producción de ATP. Por otro lado, la orellanina consta de un derivado de dióxidos de tetrahidroxibipiridilo que tiene un efecto tóxico sobre las células del epitelio renal, produciendo síntomas gastrointestinales y neurológicos (Camean & Repetto, 2012). En casos leves es útil una plasmoféresis, pero en casos graves de insuficiencia renal se requiere hemodiálisis (Karlson-Stiber & Persson, 2003) y a veces, durante varios años consecutivos.

d) Giromitrina. Toxina presente en especies de la familia *Helvellaceae* y del género *Gyromitra*.

La giromitrina (N-metil-N-formil hidrazona del acetaldehído), una vez dentro del organismo, se hidroliza en el estómago formando hidrazinas (monometilhidrazina y N-metil-N-formilhidrazina), que son citotoxinas irritantes para las mucosas. Interfieren con coenzimas que precisan la piridoxina (Vitamina B6) del sistema nervioso central (SNC), reduciendo la síntesis de GABA (ácido gamma-aminobutírico), lo que causa “agotamiento de glutatión” en los eritrocitos y daña las macromoléculas hepáticas (Karlson-Stiber & Persson, 2003).

Los casos en los que haya transcurrido poco tiempo desde la ingestión, se puede realizar un lavado gástrico; pero una vez que la toxicidad en el SNC sea severa, debe administrarse, como antídoto específico de las hidrazinas, la piridoxina (vitamina B6) por vía intravenosa (25mg/kg) (Karlson-Stiber & Persson, 2003).

e) Muscarina. Toxina abundante en diversas especies del género *Inocybe*, como *I. rimosa* (Bull.) P. Kumm., *I. erubescens* A. Blytt, *I. phaeoleuca* Kühner, entre otros y del género *Clitocybe*, como *C. rivulosa* (Pers.) P. Kumm. A pesar del nombre del compuesto, *Amanita muscaria* la contiene en cantidades pequeñas (3 ppm de peso fresco). La intoxicación no suele ser grave, aunque puede conducir a la muerte.

Es un alcaloide cuyo enantiómero (+), muscarina, compite con la colina (confiriéndole toxicidad). La muscarina afecta al nivel colinesterasa (enzimas que catalizan la hidrólisis del neurotransmisor acetilcolina) en el cuerpo, y por lo tanto es un síndrome colinérgico. Los primeros signos de intoxicación se desarrollan de forma rápida, con síntomas gastrointestinales, como náuseas, vómitos, dolor abdominal, y efectos cardiovasculares tipo bradicardia (Camen & Repetton, 2012). En caso de micetismo, se procederá a eliminar al tóxico mediante la administración de carbón activado, y en casos severos (bradicardia e hipotensión) es necesaria la utilización del antígeno, atropina (Capó, 2007), que solo puede ser aplicado por un médico.

f) Ácido iboténico y muscimol. El ácido iboténico es un aminoácido poderosamente neurotóxico. Afecta al sistema nervioso central (SNC) y su mecanismo de acción es sobre los receptores GABA (neurotransmisor principal en el SNC) y glutámicos, por ello es un neurotransmisor excitante por

excelencia de la corteza cerebral humana (Cameán & Repetto, 2012).

El ácido iboténico, al desecarse el hongo, se convierte por descarboxilación en muscimol, el cual presenta el mismo mecanismo de acción, pero es 10 veces más potente que éste último (Cameán & Repetto, 2012).

g) Sesquiterpenos. Toxina encontrada preferentemente dentro del género *Lactarius*, en especies tóxicas, como *Lactarius torminosus* (Schaeff.) Gray. Los fallos funcionales que presenta un paciente intoxicado con sesquiterpenos son gastrointestinales, como vómitos, dolores abdominales y principalmente deshidratación (Martínez & Anadón, 2012).

h) Coprina. Es un aminoácido natural, derivado de la cicloaminopropanona, que bloquea diversas rutas metabólicas en el cuerpo humano. Una de las rutas que bloquea es el metabolismo del etanol, inhibiendo la enzima acetaldehído-deshidrogenasa. Este proceso provoca alteraciones en el sistema nervioso autónomo por acumulación de acetaldehído (parte del sistema nervioso que controla las respuestas nerviosas involuntarias). El tratamiento consiste en la administración de vitamina C en dosis altas (Cameán & Repetto, 2012).

Síndromes observados en micetismos

Una vez analizadas las principales setas tóxicas y sus toxinas se procede a agrupar las intoxicaciones (micetismos) en función de cuánto tardan en hacer efecto y los síntomas que producen. Por un lado, existen setas que causan intoxicaciones con periodos de latencia cortos y, por otro, se encuentran las que presentan periodos de latencia largos.

Intoxicaciones con periodos de incubación cortos

Causan intoxicaciones leves y se muestran los síntomas antes de las 6 horas pudiendo variar, en general, entre 30 min a 3-4 horas.

Síndrome gastroenterítico.

Es provocado por diversas especies de los géneros *Lactarius*, *Russula*, *Caloboletus*, *Rubroboletus*, *Tricholoma*, *Entoloma*, *Clitocybe*, *Omphalotus*, *Scleroderma*, *Hebeloma* e *Hypholoma*, entre otros. Es el síndrome más frecuente.

Provoca diarrea, dolor de vientre, náuseas y vómitos. Un daño colateral es la deshidratación. Los primeros síntomas del síndrome gastrointestinal aparecen entre 30 min y 3 horas después de la ingesta. Pueden tardar entre 1 o 2 días en cesar.

Las toxinas responsables no son bien conocidas, a excepción de los sesquiterpenos y una hemaglutinina.

Aunque las setas no sean tóxicas si están mal cocinadas, se ingieren en gran cantidad, están en mal estado o la persona es intolerante a esa especie concreta pueden provocar gastroenteritis (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome micoatropínico, panterínico o neurológico.

Es producido por setas que contienen derivados isoxazólicos (ácido iboténico, muscimol y muscazona), como *Amanita*

muscaria o *A. pantherina* (DC.) Krombh. Actúan sobre el sistema nervioso, pero su acción es variable dependiendo de la región y hábitat en el que se producen, la época del año o la capacidad de asimilación del consumidor, entre otros aspectos. Por ejemplo, los ejemplares de *A. muscaria* procedentes de América son más irritantes para el tubo digestivo, mientras que los de Europa son más psicotrópicos y las formas con cutícula roja intenso, también son más psicotrópicos que las de tonalidades amarillentas.

Los síntomas que se presentan son vértigos, mareos, incoordinación, ataxia, euforia, disfasia, alteraciones de la conducta y alucinaciones. Se muestran de 20 a 180 minutos después de la ingestión (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome alucinatorio o enteogénico (intoxicación por hongos alucinógenos).

Se produce por la ingesta de especies pertenecientes a los géneros *Psilocybe*, *Panaeolus*, *Stropharia*, *Conocybe* e *Inocybe*. El efecto alucinógeno lo causan la psilocibina y la psilocina (derivados indólicos).

Los síntomas comienzan a la media hora de la ingestión, mostrando desorientación, confusión, midriasis, alucinaciones, percepciones distorsionadas, hiperquinesia, vómitos y crisis de pánico, que puede inducir al suicidio. Los síntomas pueden durar hasta 6 horas (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome muscarínico, colinérgico o sudoroso.

Producido por setas que contienen muscarina, como algunas de las pertenecientes a los géneros *Inocybe* y *Clitocybe*.

Los síntomas son lagrimeo, aumento de la secreción bronquial y diaforesis (hipersecreción generalizada), hipotensión, bradicardia, edema pulmonar, dolor abdominal y midriasis. Se pueden presentar de 30 a 60 minutos tras la ingesta (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome coprínico (intoxicación cardiovascular).

Causado por *Coprinopsis atramentaria* (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo, *Ampulloclitocybe clavipes* (Pers.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalys, *Suilellus luridus* (Schaeff.) Murrill y *Morchella angusticeps* Peck. (así como las demás especies pertenecientes a este género, en menor o mayor medida), entre otras.

Poseen una toxina, la coprina, que interfiere con el mecanismo oxidativo del etanol, inhibiendo a la aldehído deshidrogenasa, lo que produce la inactivación de la oxidación del acetaldehído. Por tanto, si se consumen con alcohol, ya sea simultáneamente o incluso pasadas 3 horas, entre 20 y 120 minutos después de haberlas ingerido, se produce enrojecimiento de la piel, sensación de calor y palpitaciones, sequedad en la boca, arritmias e hipotensión arterial y, en algunos casos, náuseas o vómitos. A este efecto también se le llama reacción tipo antabús, ya que coincide con la que provoca este fármaco, empleado para deshabituarse a personas alcohólicas (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome hemolítico.

La intoxicación se produce si se consumen crudas o mal cocinadas algunos ascomicetos que contienen hemolisinas termolábiles de los géneros *Helvella*, *Sarcosphaera*, *Peziza* y *Morchella*, además de algunos basidiomicetos como *Amanita rubescens* y todas las especies de *Amanita* sección *Vaginatae*. En los casos más leves, la intoxicación se identifica por un color oscuro en la orina y, en los casos más graves puede aparecer insuficiencia renal (Mencías & Franco, 2000).

Síndromes de periodo largo de incubación.

Se incluyen aquí los síndromes más graves, en los que el intervalo de tiempo desde la ingesta de la seta hasta la aparición de los primeros síntomas es superior a las 6 horas, oscilando entre 8 y 15, aunque constan casos con períodos de incubación mayores (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome giromitriano o hidracínico.

Algunos ascomicetos, entre ellos *Gyromitra esculenta* (Pers.) Fr., contienen al menos nueve tipos de hidracinas distintas. Entre las hidracinas presentes ellos destaca la giromitrina o metil-etil-hidracina (MEH) que, por hidrólisis durante cocción moderada, se transforma en N-monometilhidracina (MMH). Esta molécula inhibe la formación del GABA (neurotransmisor principal del sistema nervioso central en mamíferos). El metabolito posee capacidad mutágena y cancerígena en animales, hemolítica en enfermos con déficit de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa y es irritante gastrointestinal (Mencías & Franco, 2000).

Este tipo de intoxicación se produce por la ingesta de la seta cruda o por inhalación de vapores con MMH en el momento de la cocción. La gravedad del micetismo depende de la forma de preparación de la seta, de la predisposición o sensibilidad individual o de la exposición repetida (el efecto es acumulativo), a pesar de todo esta especie es considerada comestible en diversos países del norte de Europa.

Los síntomas aparecen en un intervalo de 6 a 24 horas después de la ingesta o en un intervalo de 2 a 8 horas después de la inhalación como epigastralgias, náuseas, vómitos y diarrea severa. Dependiendo de la gravedad, las alteraciones pueden cesar pasados de 3 a 6 días o, si el caso es más grave, pueden observarse trastornos de la consciencia, convulsiones, taquicardia, hemolisis, insuficiencia hepática y renal (Mencías & Franco, 2000; Cameán & Repetto, 2012).

Síndrome ciclopeptídico o faloidiano (intoxicación hepatotóxica).

En este grupo se incluyen los síndromes derivados de la intoxicación con setas que presentan amanitinas o amatoxinas producidas por diferentes especies del género *Amanita* como *A. phalloides*, *A. virosa*, *Amanita verna*, entre otras. Asimismo, este síndrome puede ser generado por algunas especies del género *Lepiota*, como *L. brunneoincarnata* y *L. helveola* Bres. y otras del género *Galerina*, como *G. marginata* (Batsch) Kühner.

Las amatoxinas, al bloquear el ARN mensajero, paran la síntesis proteica. La toxicidad se manifiesta especialmente sobre determinados tipos celulares, como los hepatocitos, los enterocitos y las células epiteliales de los túbulos proximales renales. Por ello, es frecuente que se desarrolle, por mecanismo indirecto, un síndrome de insuficiencia hepatorenal (debido a alteraciones de la circulación sanguínea). En los primeros momentos después de la intoxicación se producen diarreas y vómitos, seguidos de una fase de mejoría aparente que acaba en las alteraciones renales previamente mencionadas después de 24-48 h (Mencías & Franco, 2000).

Síndrome orelánico o cortinarínico (intoxicación nefrotóxica)

Las setas causantes del síndrome orelánico pertenecen al género *Cortinarius*, como *C. orellanus*, *C. splendens*, *C. rubellus*, *C. gentilis* (Fr.) Fr. y *C. limonius* (Fr.) Fr., entre otros.

Estas setas poseen dos tipos de toxinas, tipo orellanina y tipo cortinarina. Los efectos aparecen tras un largo periodo de latencia, superior a 2-3 días y, a veces, llegando a demorarse hasta 15 o 17 días, por lo que es probable que se repita el consumo y no se relacionen los efectos con la ingesta.

Es frecuente la aparición de sed, poliuria (emisión de volumen de orina superior al esperado) y malestar general inespecífico, que evoluciona a insuficiencia renal por nefritis tubulointerstitial, parestesias, somnolencia y convulsiones, pudiendo causar la muerte (Mencías & Franco, 2000).

Rabdomiólisis por setas.

La seta en la que fue descubierta es *Thricholoma equestre*, recolectada en zonas arenosas del litoral atlántico francés. El cuadro clínico se caracteriza por la presencia de lesiones musculares (rabdomiólisis) y puede llevar a la muerte por implicación de la musculatura miocárdica.

Los primeros síntomas aparecen a los 2 o 3 días de la primera ingestión, mediante dolores musculares en extremidades inferiores, acompañados de fatiga, sudación, fiebre y debilidad. En los casos graves la fiebre se hace alta y persistente, hay signos de insuficiencia cardíaca y se presenta dificultad respiratoria. Se desconoce la toxina responsable, aunque se asocia a flavinas. El tratamiento debe ser sintomático y de soporte. Se recomienda la hospitalización, en especial si se presentan disnea, signos de afectación cardíaca o insuficiencia renal.

La mejor medida de prevención es abstenerse de comerlas, ya que el consumo repetido de estas setas puede producir un cuadro grave de rabdomiólisis. Aunque se trate de setas muy apreciadas en diversos lugares y con larga tradición de consumo, su recolección y comercialización está prohibida en diversos países (Piqueras, 2013).

Intoxicación por paxilina.

El consumo de *Paxillus involutus* puede llegar a producir intoxicaciones. La acumulación de paxilina en el organismo produce hemolisis y degeneración grasa del hígado, corazón, riñones y músculos y, la ingesta continuada puede provocar la muerte, ya que se pueden formar coágulos grasos que dan lugar

a embolias cerebrales. No se conoce un tratamiento específico (Sergas, en línea).

Intoxicación por metales pesados.

Dado el carácter acumulativo de los metales pesados, las altas concentraciones de estos elementos en setas comestibles pueden suponer un problema toxicológico a largo plazo cuando son consumidas reiteradamente, especialmente en relación con aquellos metales que resultan más tóxicos como el cadmio, el plomo y el mercurio. De hecho, ya se recomienda no consumir *Agaricus urinascens* (Jul. Schäff. & F.H. Møller) Singer (= *Agaricus macrosporus* Pilát) gran acumulador de cadmio, probablemente debido a una fosfoglucoпротеína: cadmio-micofosfatina aislada a partir de sus carpóforos (Alonso *et al.*, 2003).

Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han podido comprender los aspectos fundamentales respecto a la toxicidad de las setas, así como el funcionamiento y actuación de sus toxinas; además de estudiar las especies que se pueden hallar en Galicia y los síndromes que se derivan de éstas.

Son todos ellos aspectos de gran interés, tanto desde el punto de vista científico como divulgativo, dado que aportan una información muy relevante en el ámbito de las intoxicaciones por setas.

Bibliografía

- Alonso, J., García, M., Pérez, M., Melgar, M. (2003). Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles y factores que influyen en su captación. *Rev. Toxicol.* 21: 11-15.
- Castro, M., Román, V.L. (2006). *Cogumelos de Galiza*. Vigo: Editorial A Nosa Terra.
- Cameán, A., Repetto, M. (2012). *Toxicología alimentaria*. Madrid: Edita Díaz de Santos.
- Capó, M. (2007). *Toxicología clínica, alimentaria y ambiental*. Madrid: Edita Universidad Complutense.
- Käferstein, H., Sticht, G. (2000). Detection of psilocin in body fluids. *Forensic Sci. Int.* 113: 403-407.
- Karlson-Stiber, C., Persson, H. (2003). Cytotoxic fungi - an overview. *Toxicon.* 42: 339-49.
- Marcote, J., Pose, M., Traba, J. (2003). *Setas de Galicia*. A Coruña: Xunta de Galicia Servicio Central.
- Martínez, M., Anadón, A. (2012). *Micotoxinas*. Madrid, España: Edita Díaz de Santos.
- Mencías, E.M., Franco, L.M.M. (2000) *Manual de toxicología básica*. Madrid: Edita Díaz de Santos.
- Piqueras, J. (2013). Mushroom poisoning an update. *Rev. Esp. Med. Legal* 40:19-29.
- TOXNET Database (2015). *Biblioteca de Medicina de los Estados Unidos*. Recuperado el 5 de noviembre del 2015 de <http://toxnet.nlm.nih.gov>.
- SERGAS (en línea). *Intoxicación por cogumelos*. Recuperado el 15 de octubre de 2017 de <http://www.sergas.es>.

- Wieczorek, M. (2014). The effect of particular active substances of hallucinogenic mushrooms. *Folia Biol. Oecologica* 10: 40-48.
- Wieland, T., Faulstich, H., Fiume, L. (1978). Amatoxins, Phallotoxins, Phallolysin, and Antamanide: The biologically active components of poisonous *Amanita* mushrooms. *CRC Crit. Rev. Biochem.* 5: 185-260.

Avaliación do efecto causado na fauna de macroinvertebrados por unha minicentral hidroeléctrica no río Fragoso (Ourense)

Traballo Fin de Grao
Grao en Bioloxía

Titora:
Josefina Garrido González

Departamento de Ecoloxía e
Bioloxía Animal

Polina González, A.

polina-7@live.com

Resumo

O río Fragoso (Ourense, NO España) atópase regulado por unha minicentral hidroeléctrica desde o ano 2002. Partindo da hipótese de que a regulación do seu cauce podería causar algún tipo de alteración no ecosistema fluvial, leváronse a cabo diferentes análises da variación espacial e temporal das comunidades de macroinvertebrados bentónicos entre outono de 2001, etapa previa á instalación da minicentral, e outono de 2016. Ditos organismos funcionan como bioindicadores e mediante o estudo da súa abundancia e composición pódese investigar unha posible afección asociada á actividade da planta hidroeléctrica. Os resultados reflicten, en xeral, un decrecemento no estado ecolóxico nas áreas próximas ás seccións de regulación como consecuencia da perda de organismos sensibles ás variacións e o aumento en número de individuos máis tolerantes dando lugar, así, nunha perda de biodiversidade.

Introdución

É coñecido que os maiores asentamentos da poboación dados na historia producíronse ó redor dos sistemas acuáticos, especialmente en mares, lagos e ríos. Concretamente, os ecosistemas fluviais son unha fonte de vida e de recursos magnífica, cun amplo catálogo de usos que os converten en indispensables para a nosa existencia (Jordaan, 2009). Mais, cada vez, atópanse máis ameazados debido ó aumento das alteracións derivadas das actividades antrópicas, consecuencia do rápido incremento da poboación (Vörösmarty *et al.*, 2010).

Faise necesario, polo tanto, determinar a calidade da auga e atallar unha das maiores problemáticas á que nos enfrontamos, e neste contexto xurdiu a Directiva Marco da Auga (DMA), normativa europea que establece, entre outras medidas innovadoras, o emprego de bioindicadores como valores de referencia e coma elementos de diagnose e control (Munné e Prat, 2004). Estes permiten a detección a longo prazo dos cambios producidos na calidade da auga debido á adaptación de varios grupos a condicións ambientais específicas. Deste xeito, se cambiasen as condicións do medio, estes desaparecerían de ser intolerantes ás novas características, sendo substituídos por outros máis xeneralistas (Benetti *et al.*, 2012).

Dentro dos organismos bioindicadores, os de uso e distribución máis estendida son os macroinvertebrados bentónicos: invertebrados de tamaño superior a 500 µm que viven no fondo dos ecosistemas acuáticos polo menos durante unha parte do seu ciclo vital (Pardo *et al.*, 2010; Benetti *et al.*, 2012). Estes integran moitas das cualidades que debe cumprir un bo indicador (Alba-Tercedor *et al.*, 2005): teñen unha ampla distribución xeográfica; ubicuidade; gran riqueza específica e variedade de respostas a diferentes gradientes ambientais; poden ser mostreados de forma sinxela e económica; a súa

taxonomía e a súa sensibilidade, polo xeral, están ben documentadas; son na súa maioría sedentarios, o que permite realizar análises espaciais da contaminación, etc. (Alba-Tercedor *et al.*, 2005; Bonada *et al.*, 2006; Oscoz *et al.*, 2006).

A pesares de que o uso destes organismos como indicadores de calidade biolóxica non é algo novo (as primeiras metodoloxías datan de comezos do século XX, Metcalfe, 1989; Hellawell, 2012), estes non foron empregados en España até a década dos 80 coa publicación de numerosos estudos nos que fan constancia deles (Zamora-Muñoz e Alba-Tercedor, 1996). Máis concretamente, en Galicia, podemos destacar os estudos de Benetti *et al.* (2007), Benetti e Garrido (2010), Pérez-Bilbao *et al.* (2013) e Álvarez-Troncoso *et al.* (2017).

O obxectivo do presente traballo é a avaliación da variación espacial e temporal (outono de 2001 – outono de 2016) sufrida polas comunidades de macroinvertebrados bentónicos do río Fragoso (Ourense) sometidas ó impacto dunha minicentral hidroeléctrica implementada pola empresa Grupo Adelanta no ano 2002.

Metodoloxía

Área de estudo

As zonas nas que se levou a cabo o presente traballo sitúanse no río Fragoso, localizado na provincia de Ourense (Galicia, NO España), e pertencente á cunca do río Limia. O río Fragoso discorre dende A Franqueira, a 942 metros de altitude, até desembocar no propio río Limia (tamén en Ourense) tras o seu paso por Poleiro do Cuco, A Porqueira, Monte Recarei, Lobeira, Sabariz, Valbón e Grou (Sarr, 2011; Álvarez-Troncoso, 2012).

Tal e como se mencionou antes, elixiuse este río como obxecto de estudo debido á instalación dunha minicentral hidroeléctrica por parte da empresa Grupo Adelanta no ano 2002, de modo que o seu fluxo está a ser constantemente regulado polas estruturas asociadas á planta enerxética. Estas son unha represa e dúas canles, unha de desviación preto da propia represa que mobiliza a auga acumulada para ser procesada mediante un xerador, e outra de desaugue que devolve a auga empregada para a obtención de enerxía ó seu curso natural (Adelanta, en liña).

Para a realización deste estudo seleccionáronse 5 estacións de mostraxe de aproximadamente 100 m cada unha ó longo do río en función da situación da minicentral e as súas estruturas. Deste xeito, as estacións emprazáronse tanto na cabeceira coma nos tramos medios e baixos tendo en conta que foran facilmente accesibles, que non existisen vertidos que puidesen interferir na determinación do impacto da planta enerxética e que existise unha distancia relativamente equilibrada entre cada unha delas. Os puntos foron nomeados segundo a localidade que se atopase máis próxima a cada un deles.

Estacións de mostraxe	Código	Altitude (m)	UTM X	UTM Y
Parada do Monte	F1	747	5788134605	45620147192
Ponte de Groicio	F2	563	5791387083	46492544893
Ponte Abeleda	F3	545	5797222948	46482072459
Requeixo	F4	419	5788295007	46453921633
Grou	F5	410	57835434	464386924

Táboa 1: situación xeográfica e altitude de cada unha das estacións de mostraxe empregadas.

Augas arriba, na cabeceira, atopamos Parada do Monte (F1), caracterizada por albergar unha gran cantidade de vexetación a ambos lados da súa canle. Máis abaixo, pero aínda lonxe da canle de desviación, atópase Ponte do Groicio (F2), que posúe tamén abundante vexetación de ribeira, pero máis diversa. No tramo medio, xusto antes da represa, está situada Ponte Abeleda (F3), evidentemente moi influída pola instalación da minicentral xa que nela acumúlase moita auga. Requeixo (F4) está situada augas abaixo da represa, antes da canle de desaugue, e o seu fluxo está constantemente regulado polas descargas uniformes do embalse. Adoita levar moita follaxe no seu curso, feito desencadeado pola abundante vexetación arbórea caducifolia que a protexe. Por último, augas abaixo da canle de desaugue temos Grou (F5), que recibe as descargas procedentes desta estrutura, e nela tamén abunda a vexetación, especialmente as pteridófitas.

Materiais e métodos

O estudo seguiu de acordo ó protocolo establecido por Alba-Tercedor *et al.* (2005) para a determinación do estado ecolóxico das augas mediante o uso de macroinvertebrados bentónicos. O traballo realizado podémolo dividir en 3 partes fundamentais: unha primeira labor de campo na que se recolleron as mostras, unha segunda de laboratorio para o procesamento dos exemplares colectados e unha última de tratamento dos datos.

O protocolo de campo consta, á súa vez, doutras 3 fases:

1. Toma de medidas: en cada tramo estudado realizouse, en primeiro lugar, a medición da anchura e da profundidade do río coa axuda dunha cinta métrica. A continuación, co equipo multiparamétrico rexistráronse os parámetros físico-

químicos tales coma o pH, a condutividade e o contido en osíxeno. Por último tomouse un pequeno volume de auga para a súa posterior análise nun laboratorio de determinación da calidade da auga, obtendo tamén a concentración de diferentes nutrientes coma fosfatos, nitratos ou nitritos.

2. Recollida de mostras: a captura da fauna macroinvertebrada levouse a cabo mediante unha mostraxe cuantitativa cunha rede Surber de 25 cm de lado, 60 cm de fondo e 0.5 mm de luz de malla sobre cada substrato presente nos tramos obxecto de avaliación. Esta recollida realizouse a contracorrente coa fin de minimizar a cantidade de erros posibles.

3. Trala recollida das mostras procedeu a unha primeira limpeza mediante o uso dunha peneira e bandexas de plástico, permitindo separar substratos coma pedras, follas, ramas, etc. A continuación pasáronse as mostras das bandexas ós botes de plástico previamente rotulados e etiquetados cos datos do tramo que estaba ser estudado (nome da estación, tipo de substrato mostrexado e data) e fixéronse con formol 4% para evitar a depredación entre os macroinvertebrados capturados.

As tarefas de laboratorio consistiron, basicamente, na identificación das mostras recollidas e almacenadas no departamento de Ecoloxía e Bioloxía Animal durante as mostraxes de outono de 2001 e 2016. Cando se almacenan as mostras é fundamental facelo en alcol ó 70% para unha boa conservación dos exemplares e non en auga con formol 4% na que foran fixadas.

En primeiro lugar procedeu á separación dos macroinvertebrados do resto de elementos que se atopaban no bote, coma pequenas follas ou ramas, baixo a lupa de laboratorio. Posteriormente identificáronse até o nivel taxonómico de familia (nivel que se considera óptimo tanto para a avaliación do estado ecolóxico dos ríos como para a comparación de comunidades de invertebrados e a súa resposta ás variacións do medio, Pardo *et al.*, 2010), agás en casos concretos coma *Oligochaeta* ou *Hidracarina*, nos que non é necesario afondar máis no seu nivel.

Toda vez que foron separados, identificados e contados procedeu ó tratamento dos datos. É necesario destacar que as mostras, como se fixo mención anteriormente, pertencían a unha análise cuantitativa do río, é dicir, mostrexábase en función dos substratos presentes en cada un dos tramos de interese. Sen embargo, os datos obtidos para cada un dos substratos foron sumados para facer un resultado global dos individuos presentes en cada tramo, pasando a ser, así, unha análise cualitativa. Isto fíxose coa fin de poder aplicar os índices IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party) e IASPT (Iberian Average Score Per Taxon), os máis recoñecidos actualmente no que a avaliación da calidade da auga se refire, e requiren dunha mostraxe cualitativa para o seu cálculo.

Resultados e discusión

Parámetros físico-químicos

ESTACIÓN	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS									
	F1		F2		F3		F4		F5	
ANO	2001	2016	2001	2016	2001	2016	2001	2016	2001	2016
T° (°C)	11,34	5,1	10,47	6,2	9,65	6,6	10,25	8,1	10	7,5
pH	7,02	7,18	6,47	7,18	6,61	6,43	6,62	6,9	6,6	7,06
O ₂ (mg/L)	10,2	12,6	10,95	10,6	11,74	10,3	11,35	9,8	11,58	10,1
Anchura media (m)	5,4	3,1	5,1	12,62	6,1	11,5	8,84	10,6	7,35	19,3
Profundidade media (m)	0,56	0,5	0,34	1,4	0,58	1	0,34	1,1	0,4	1,20
Amonio (mg/L)	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
Nitratos (mg/L)	0,36	1,41	0,65	2,68	0,74	2,82	0,93	3,7	0,87	3,18

Táboa 2: valores obtidos para cada un dos parámetros físico-químicos medidos en cada unha das estacións de mostraxe do río Frago en ambas épocas de estudo, tanto en Outono de 2001 como en Outono de 2016.

A influencia destes parámetros na distribución, abundancia e riqueza dos macroinvertebrados é innegable. Por exemplo, a temperatura inflúe de diversas formas: na fecundidade, o desenvolvemento dos ovos, crecemento, comportamento ou alimentación (Fernández-Díaz, 2003). Obsérvase unha clara diminución da mesma na última época de estudo con respecto á primeira: consultando en MeteoGalicia (en liña), comprobamos que a temperatura ambiental foi moi superior en Outono de 2001 que en 2016, influíndo notablemente na temperatura da auga.

Grazas ós rexistros de MeteoGalicia (en liña) pódese tamén xustificar, en parte, o aumento en case todas as estacións de mostraxe tanto da anchura do río coma da profundidade do mesmo debido á maior cantidade de precipitacións documentadas en outono de 2016 con respecto a outono de 2001. Sen embargo, isto non abonda para que existan estas diferenzas: loxicamente, a instalación dunha presa é responsable directa deste aumento debido á acumulación de auga para a súa regulación e, polo tanto, tamén da diminución na velocidade do fluxo (Wei-Wei *et al.*, 2008). Mención especial merece F5, onde o aumento é moi esaxerado, probablemente pola influencia da canle de desaugue que inunda este tramo cando a minicentral se atopa en funcionamento.

En vista a estes resultados, poderíase afirmar que non existe contaminación no momento concreto de toma de mostrax. Débese mencionar o aumento na concentración de nitratos entre os dous anos de estudo, se ben nin sequera se aproximan ó valor máximo (10 mg/L) que recolle o Real Decreto 817/2015 do 11 de setembro no BOE. Este incremento é froito da descomposición de materiais vexetais como follas, con toda probabilidade debido á súa habitual caída procedente da vexetación circundante e dos árbores caducifolios. Tal e como se mencionaba ó comezo desta análise, a temperatura ambiental foi sensiblemente maior en 2001 que en 2016 (MeteoGalicia, en liña), o que provocou un retraso no ciclo desta vexetación caducifolia e, polo tanto, na caída das súas follas e a súa posterior degradación en forma de nitratos no río.

	COMPOÑENTES		
	Amonio	Fosfatos	Nitratos
Valor de referencia (mg/mL)	0.2	0.2	10

Táboa 3: valores de referencia para os diferentes compoñentes para o tipo de río nº 21: cántabro-atlántico silíceo. Modificado do BOE, 2015.

Riqueza de familias e índice de Shannon-Wiener

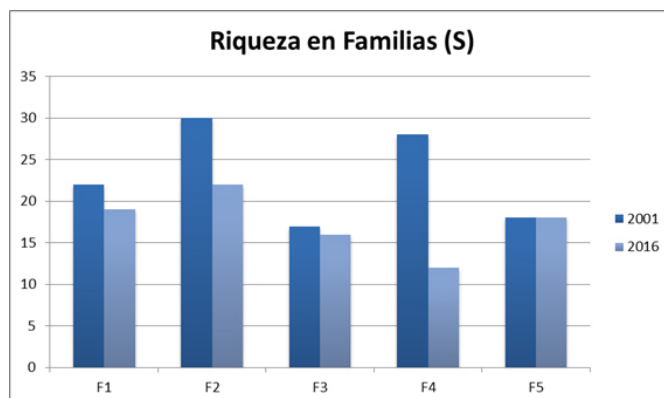


Figura 1: representación gráfica da comparativa da riqueza en familias nas diferentes estacións de mostraxe entre Outono de 2001 e Outono de 2016 no río Frago.

A biodiversidade é un indicador fundamental para determinar a saúde ambiental dun ecosistema: canto maior sexa, mellor será o estado do mesmo, xa que implica que alberga un conxunto de condicións que permiten o desenvolvemento dun gran número de taxóns, e non so duns poucos, o cal implicaría que o ecosistema so permite a persistencia daqueles grupos cunha maior tolerancia ás variacións, e a desaparición dos máis sensibles (Armenteros *et al.*, 2018).

Vendo a figura 1, o descenso máis brusco encontrámolo en F4, onde pasa de 28 grupos taxonómicos diferentes identificados en Outono de 2001 a tan so 12, o que en principio nos fai pensar que as novas condicións existentes nesta área como consecuencia da regulación do caudal por parte da minicentral inflúen de forma moi negativa na comunidade de macroinvertebrados e nas súas interaccións. Cando se instala un embalse, rómpese o equilibrio xeomorfolóxico do cauce: a represa funciona como unha ‘trampa’ para os sedimentos e demais elementos que o río leva nel. Isto sumado a un fluxo controlado e polo tanto uniforme da auga provoca unha maior capacidade erosiva por parte das augas, afectando ó substrato dos tramos a continuación e, deste xeito, modificando as condicións de vida da fauna que neles se atopan (De Jalón, 2008).

Podemos realizar unha análise semellante en F2 e F3. A construción dunha represa afecta tanto aos tramos situados augas abaixo, tal e como acabamos de comprobar, coma aos que se atopan augas arriba. A acumulación de auga, tal e como mencionamos anteriormente citando a Barnes *et al.* (2013) asóciase co paso dun tramo lótico a un léntico, coa súa conseguinte modificación do substrato dominante a areas e limos que provoca que non todos os organismos sexan capaces de adaptarse.

Se ben a riqueza de familias é interesante para facernos unha primeira idea do estado do ecosistema faise necesario, sen embargo, a aplicación dun índice de diversidade que nos permita coñecer como está estruturada a comunidade en cada unha das estacións de mostraxe. Neste caso aplicouse o índice

de diversidade de Shannon-Wiener, obtendo unha serie de valores que se recollen na figura 2.

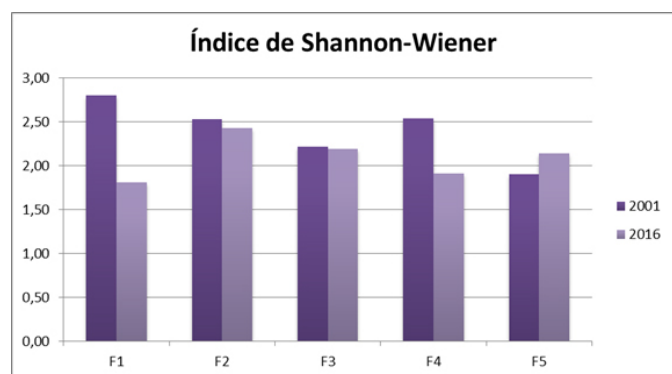


Figura 2: representación gráfica da comparativa dos valores obtidos para o índice de Shannon-Wiener nas diferentes estacións de mostraxe entre Outono de 2001 e Outono de 2016 no río Fragoso.

Como era de esperar tralos descenso observados na riqueza en familias, este índice de diversidade indícanos que, se ben non é moi elevada, produciuse unha diminución no equilibrio das comunidades na meirande parte das estacións de mostraxe agás en F5, onde se pode apreciar un leve incremento. Pese a todo, os valores achados atópanse dentro dun rango que confirmaría un bo estado de conservación, entre 1,5 e 3,5 puntos (Magurran, 1989). Polo tanto, á vista dos resultados poderíamos concluír que as comunidades en tódolos tramos son diversas e están ben equilibradas, cunha abundancia relativa moi similar entre as familias identificadas.

Índices IBMWP e IASPT

Código Estación	Outono 2001			Outono 2016		
	IBMWP	IASPT	Calidade	IBMWP	IASPT	Calidade
F1	138	6,27	Boa	110	5,79	Boa
F2	198	6,6	Moi boa	141	6,41	Boa
F3	104	6,12	Boa*	88	5,5	Aceptable
F4	181	6,46	Moi boa	66	5,5	Aceptable*
F5	125	6,94	Boa	105	5,83	Boa*

Táboa 4: resultados obtidos tralo cálculo dos índices IBMWP e IASPT no río Fragoso para cada estación de mostraxe nas épocas de "outono 2001" e "outono 2016". Os puntos marcados cun asterisco (*) atópanse entre dúas calidades de auga, tal e como establecen Alba-Tercedor et al., 2002.

Tanto o índice IBMWP como o índice IASPT son versións modificadas e adaptadas á fauna de España dos índices BMWP e ASPT, respectivamente, realizados para Gran Bretaña en 1983 por Armitage et al. (1983). Esta adaptación levouse ó cabo pola necesidade de incluír familias de macroinvertebrados ibéricos ausentes nas listas empregadas no caso británico.

O índice IBMWP (Alba-Tercedor et al., 2002) baséase na presenza/ausencia de determinadas familias de macroinvertebrados acuáticos, cada unha asignada cun valor que oscila entre 1 e 10 en función do grado de tolerancia que presente dita familia á contaminación, ou á súa asociación con medios alterados. As familias menos propensas a desenvolverse nestes medios terán puntuacións máis elevadas (Zeybek et al., 2014). A suma de todos estes valores será a que determine o nivel da calidade da auga.

O índice IASPT (Alba-Tercedor et al., 2002) representa a sensibilidade media das familias presentes, e calcúlase dividindo o valor obtido de IBMWP entre o número de taxóns presentes (Zeybek et al., 2014). Este índice é complementario ó IBMWP, pois permite detectar cambios na calidade da auga que pasan desapercibidos empregando este último (Osoz et al., 2005).

Os resultados que amosa a táboa 4 non poden ser máis reveladores: apréciase un claro descenso da calidade da auga en tódolos puntos de estudo, sendo F4 (Requeixo) o punto máis afectado, cun descenso de 115 unidades no índice IBMWP e pasando de ser considerada como "Moi boa" a atoparse entre unha calidade "Aceptable" e "Dubidosa". O resto de puntos, como era de esperar, tamén sufriron un descenso no seu estado ecolóxico descendendo, polo menos, unha categoría de calidade agás en F1 (Parada do Monte).

Os valores para o índice IASPT non son moito máis alentadores, pois tamén descendieron bastante entre ambas épocas. A práctica totalidade das estacións estarían catalogadas como de "Calidade dubidosa", sempre segundo os estándares deste índice, agás F2, que quedaría encaixada como "Augas limpas".

Con todos estes resultados na man faise evidente que existe un cambio notable entre as dúas épocas suxeitas a estudo, sendo os tramos máis próximos ás estruturas pertencentes á minicentral os que sufriron un maior cambio. Se ben F1 tamén viu as súas condicións e os seus parámetros afectados, dificilmente vai ser como consecuencia do impacto do funcionamento da minicentral ó atoparse moi lonxe augas arriba da súa situación. Ademais, os índices de calidade da auga non establecen unhas diferenzas tan notorias coma nos casos anteriormente mencionados.

A estación F2 (Ponte do Groicio), aínda que padeceu un descenso considerable no seu índice IBMWP, atópase moi preto da categoría de Calidade "Moi boa" e así o reflexa o índice IASPT, catalogando soamente a este tramo coma de "Augas limpas". A pesares de que houbo un cambio na dominancia atendendo á abundancia relativa dos individuos mostrexados entre as dúas épocas de estudo (actualmente Ceratopogonidae é a familia máis representada no tramo, dípteros xeneralistas cun rango de tolerancia elevado para as alteracións (González e Cobo, 2006)), tamén aparecen representadas outras familias consideradas especialistas coma Leptophlebiidae ou Brachycentridae (González e Cobo, 2006), polo que as condicións de habitabilidade aínda son boas.

En F3 (Ponte Abeleda) os efectos da minicentral quedan de manifesto coa diminución no índice IBMWP, pasando dunha categoría de calidade "Boa" a "Aceptable", e no índice IASPT, pasando a ser consideradas augas de "calidade dubidosa". É importante destacar a presenza da familia de heterópteros Corixidae na época actual e a súa ausencia antes da instalación da minicentral, pois é un taxón máis propio de augas estancadas (Carbonell et al., 2018), e tamén do incremento no número de individuos da subclase Oligochaeta, indicadores universais de contaminación orgánica pola súa capacidade de adaptación a medios cunha gran deposición de materia orgánica e o desprazamento doutras comunidades de

macroinvertebrados (Martins *et al.*, 2008). Todo isto é indicativo de que a dinámica neste tramo modificouse por completo como consecuencia da construción da represa.

O tramo de F4 (Requeixo) é, sen dúbida, o que se viu maiormente afectado pola construción da minicentral e o seu funcionamento. O drástico descenso documentado tanto para os índices IBMWP e IASPT sinala claramente que a calidade da auga non se atopa nas mesmas condicións que na etapa previa á posta en marcha da planta hidroeléctrica, sendo agora considerada augas de "calidade dubidosa". As novas condicións existentes debido á regulación non permitiron adaptarse á maioría de taxóns que habitaban neste tramo, reducíndose o número de familias presentes de 28 a 12, como se apuntaba anteriormente. Un dos motivos pode ser a redución no número de ambientes nos que se poidan desenvolver os organismos: en 2001 había gravas, cantos e area, mentres que en 2016 soamente predominan os briófitos. Polo tanto, o hábitat actual permite o asentamento de especies que teñan afinidade polos depósitos vexetais, e este é o caso de Elmidae, Baetidae ou Nemouridae (González e Cobo, 2006, Álvarez-Troncoso, 2012), as familias con maior representación segundo as mostras recollidas. Deste xeito, dúas familias das máis numerosas propias das rocas do fondo coma Ephemeridae ou Capniidae nin sequera aparecen na época actual, corroborando o cambio na diversidade da zona.

O último tramo é, canto menos, un dos máis curiosos. En F5 (Grou) observamos unha equidade no que a riqueza de taxóns se refire, e un aumento no índice de diversidade de Shannon-Wiener, establecendo que a comunidade atópase perfectamente equilibrada. Mais, se atendemos ós resultados dos índices de calidade da auga, esta descende unha categoría en cada un deles, indicando polo tanto que as familias que se atopan neste punto actualmente non son tan sensibles como eran as de 2001. Familias de dípteros coma Chironomidae ou Ceratopogonidae ou de plecópteros coma Nemouridae altamente representadas son propias de ambientes certamente degradados (Baumann, 1975, Serra *et al.*, 2017). É certo que en 2001 a familia Elmidae representaba case o 47% dos individuos identificados, e o resto de taxóns aparecían en moita menor medida. Este pode ser o motivo polo cal o índice de Shannon-Wiener mostra unha maior equidade na actualidade que na primeira época de mostraxe.

Aplicando unha visión global de todo o exposto até agora faise evidente que os ecosistemas entre ambas épocas de estudo non son os mesmos. Varían en todas as estacións con moitos cambios de dominancia, feito desencadeado fundamentalmente polo cambio no tipo de substrato nalgúns tramos. Os substratos exercen un papel indispensable para a habitabilidade das comunidades de macroinvertebrados ao seren un medio eficaz de protección e de alimento (Álvarez-Troncoso *et al.*, 2017), e determinan que taxóns van ter un maior éxito reprodutivo e, polo tanto, de supervivencia. Todo isto unido aos cambios evidentes no caudal e na velocidade da corrente pola regulación mediada polas estruturas asociadas á minicentral explican as diferenzas entre unha época e outra.

Conclusiones

Como se viña establecendo en anteriores traballos, o uso dos macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores son un excelente método para avaliar a calidade da auga e determinar o seu estado ecolóxico. O análise e comparación dos parámetros físico-químicos non abonda para elo, xa que quedou demostrado que non aportan a información suficiente sobre as alteracións ás que están sometidos os diferentes ecosistemas que atopamos no río. Convén, polo tanto, empregar estas medidas paramétricas tan so como complemento cando se queira realizar unha avaliación destas características.

Os índices permitíronnos ilustrar o impacto negativo que a minicentral e as súas estruturas asociadas exercen sobre o río e, polo tanto, sobre as comunidades de macroinvertebrados como consecuencia da regulación do fluxo.

Bibliografía

- ADELANTA (en liña). Grupo Adelanta: Negocios e enerxía eléctrica. Consultado o 22/05/2018 en: <http://www.adelanta.com/web/index.htm.php?lang=esedir=negociosetpl=energia>
- Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuellar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C.E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M.L., Toro, M., Vidal-Abarca, M.R., Vivas, S., Zamora-Muñoz, C. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica*. 21 (3-4): 175-185.
- Alba-Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., Pujante, A. (2005). *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.
- Álvarez-Troncoso, R. (2012). *Evaluación del efecto causado por minicentrales hidroeléctricas en ríos de Galicia (NO España), mediante el estudio de larvas de Trichoptera (Insecta)*. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo, 210 pp.
- Álvarez-Troncoso, R., Benetti, C.J., Sarr, A., Garrido, J. (2017). The microhabitat preferences of Trichoptera in four rivers of Northwest Spain. *Mar. Freshwater Res.* 68 (9): 1686-1694.
- Armenteros, M., Saladrigas, D., González-Casuso, L., Estévez, E.D., Kowalewski, M. (2018). The role of habitat selection on the diversity of macrobenthic communities in the gulfs of the Cuban Archipelago. *Bull. Mar. Sci.* 94 (2): 249-268.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J.F., Furse, M.T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.* 17 (3): 333-347.
- Barnes, J.B., Vaughan, I.P., Ormerod, S.J. (2013). Reappraising the effects of habitat structure on river macroinvertebrates. *Freshwater Biol.* 58: 2154-2167.
- Baumann, R. W. (1975). Revision of the stonefly family Nemouridae (Plecoptera): a study of the world fauna at the generic level. *Smithsonian Contrib. Zool.* 211: 1-74.

- Benetti, C.J., Alonso, A.I., Garrido, J. (2007). Comparación de la comunidad de coleópteros acuáticos (Adephaga y Polyphaga) en dos cuencas hidrográficas con distinto grado de acción antropogénica (Pontevedra, NO de España). *Limnetica*. 26 (1): 115-128.
- Benetti, C.J., Garrido, J. (2010). The influence of water quality and stream habitat on water beetle assemblages in two rivers in northwest Spain. *Vie Milieu*. 60 (1): 53-63.
- Benetti, C.J., Pérez-Bilbao, A., Garrido, J. (2012). Macroinvertebrates as indicators of water quality in running waters: 10 years of research in rivers with different degrees of anthropogenic impacts. En: Voudouris, K, Voutsas, D. (Eds.) *Ecological Water Quality – Water Treatment and Reuse*. Rijeka, Croatia: InTech. 95-122 pp.
- BOE (2015). Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Nº 219. BOE-A-2015-9806.
- Bonada, N., Prat, V., Resh, H., Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495-523.
- Carbonell, J.A., Bilton, D.T., Calosi, P., Millán, A., Stewart, A., Velasco, J. (2018). Metabolic and reproductive plasticity of core and marginal populations of the eurythermic saline water bug *Sigara selecta* (Hemiptera: Corixidae) in a climate change context. *J Insect Physiol.* 98: 59-66.
- De Jalón, D.G. (2008). de la ponencia: la regulación de los caudales y su efecto en la biodiversidad. *Management*, 4 (1): 343-348.
- Fernández-Díaz, M. (2003). *Estudo faunístico y ecológico de los coleópteros acuáticos (Adephaga y Polyphaga) en la cuenca del río Avia (Ourense, NO España): Distribución espacial y temporal*. Memoria de Licenciatura. Universidad de Vigo, 146 pp.
- González, M.A., Cobo, F. (2006). *Macroinvertebrados de las aguas dulces de Galicia*. A Coruña, España: Hércules De Ediciones. 173 pp.
- Hellawell, J.M. (2012). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Springer Science e Business Media.
- Jordaan, J.M. (2009). The uses of river water and impacts. En: Dooge, J.C.I. (Ed.) *Fresh Surface Water*. Oxford, UK: Eolss Publishers Co. 1-27 pp.
- Magurran, A.E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición*. Vedrá (ed.), Barcelona.
- Martins, R.T., Stephan, N.N.C., Alves, R.G. (2008). Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) as an indicator of water quality in an urban stream in southeast Brazil. *Acta Limnol. Bras.* 20: 221-226.
- Metcalf, J.L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environ. Pollut.* 60: 101-139.
- METEOGALICIA (en liña). Informes climatológicos. Consultado o 25/05/2018 en: http://www.meteogalicia.gal/observacion/informesclima/informesIndex.action?request_locale=es
- Munné, A., Prat, N. (2004). Defining River Types in a Mediterranean Area: A Methodology for the Implementation of the EU Water Framework Directive. *Environ. Manage.* 34 (5): 711-729.
- Oscos, J., Leunda, P.M., Miranda, R., Escala, M.C. (2005). Calidad biológica de las aguas en el río Erro (Navarra, N España). *Ecología*. 19: 59-74.
- Oscos, J., Campos, F., Escala, M.C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*. 25 (3): 683-692.
- Pardo, I., García, L., Delgado, C., Costas, N., Abraín, R. (2010). *Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico. Convenio entre la Universidad de Vigo y las Confederaciones Hidrográficas del Miño-Sil y Cantábrico*. 65 pp.
- Pérez Bilbao, A., Benetti, C.J., Garrido, J. (2013). Estudio de la calidad del agua del río Furnia (NO España) mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*. 20: 1-10.
- Sarr, A. (2011). *Evaluación del estado de conservación de ríos afectados por minicentrales hidroeléctricas mediante el estudio de coleópteros acuáticos*. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo, 224 pp.
- Serra, S.S.Q., Graça, M.A.S., Dolédec, S., Feio, M.J. (2017). *Chironomidae* traits and life history strategies as indicators of anthropogenic disturbance. *Environ. Monit. Assess.* 189: 326.
- Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Reidy Liermann, C., Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. 467: 555-561.
- Wei-Wei, H., Gen-Xu, W., Wei, D., Sheng-Nan, L. (2008). The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River basin, China. *Ecol. Eng.* 33: 233-241.
- Zamora-Muñoz, C., Alba-Tercedor, J. (1996). Bioassessment of Organically Polluted Spanish Rivers, Using a Biotic Index and Multivariate Methods. *Freshw Sci.* 15 (3): 332-352.
- Zeybek, M., Kalyoncu, H., Karakas, B., Özgül, S. (2014). The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality according to macroinvertebrates in Degirmendere Stream (Isparta, Turkey). *Turk. J. Zool.* 38: 603-613..454.

Estudio del sesgo mutacional en contenido G+C en posiciones variables (SNPs) de las poblaciones humanas africana, asiática y centroeuropea

Trabajo Fin de Grado
Grado en Biología

Tutor:
Antonio Carvajal

Departamento de Bioquímica,
Genética e Inmunología

Pérez Rodríguez, D.

daniel.prz.rodriguez@gmail.com

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el fenómeno de sesgo mutacional en SNPs de tres poblaciones humanas (africana, asiática y centroeuropea). Para ello, se realiza un análisis estadístico de los datos de contenido G+C de todos los SNPs de dichas poblaciones.

Introducción

El genoma humano está compuesto de cuatro tipos diferentes de bases nitrogenadas que se emparejan mediante enlaces formando la conocida doble hélice de ADN. Estas parejas pueden ser de Adenina (A)-Timina (T) o Citosina (C)-Guanina (G). El tipo de enlace químico que las une es diferente, siendo un doble puente de hidrógeno para el par A-T y uno triple para el G-C (Figura 1). Esta diferencia es importante ya que los enlaces triples son más estables que los dobles y, por tanto, presentan una mayor resistencia a la desnaturalización.

Las bases nitrogenadas parece que no se distribuyen de una manera homogénea en el genoma, sino que hay regiones más ricas en una pareja o en la otra. En general, parece que hay una tendencia hacia la acumulación de A-T en sitios neutros del genoma (aquellos aparentemente no relacionados con ninguna función), y podría existir una acumulación de G-C en zonas codificantes (Yakoychuk *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2007). Este fenómeno es conocido como sesgo mutacional.

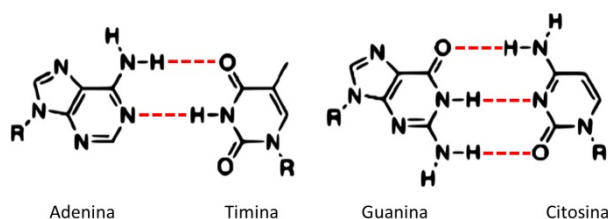


Figura 1. Esquema del apareamiento de bases nitrogenadas según el modelo de Watson-Crick.

Esta desigualdad mutacional se cuantifica con el llamado parámetro de sesgo mutacional k , que es la ratio de mutación de $GC \rightarrow AT$ y $AT \rightarrow GC$ (Sueoka, 1962; Li, 1987; Bulmer, 1991). Los cambios en el contenido G+C genómico (contenido total de citosinas y guaninas del genoma) están fuertemente correlacionados con la variación en k .

Asimismo, una mayor presencia G+C puede ser favorecida frente a A+T, debido al efecto de la selección natural junto con fenómenos de sustitución sinónima o conversión sesgada de genes (BGC, por sus siglas en inglés). La BCG ocurre cuando heterocigotos para variantes GC y AT en un nucleótido producen más del 50% de variantes GC en sus gametos como resultado de una reparación sesgada del ADN heterodúplex (Marais, 2003). Este fenómeno produce un cambio en las frecuencias GC frente a las variantes AT.

Por otra parte, el modelo mutacional de Löwding postula que la doble transferencia de protones entre bases (DPT) es la causante de un sesgo mutacional a favor de la conversión $GC \rightarrow AT$, ya que se trata de un fenómeno químico espontáneo que ocurre con más frecuencia en los pares GC que en los AT. Por lo tanto, existen dos fuerzas mutacionales que pueden dar lugar a un sesgo. Por un lado, la BCG que disminuye el valor de k (aumenta GC), y por otro la DPT que actúa de manera opuesta. Debido a que una sustitución $AT \rightarrow GC$ tiene más probabilidades de ser sinónima (Palidwor *et al.*, 2010), se fijarán G y C con más frecuencia en regiones codificantes (donde un cambio en el aminoácido traducido es relevante). Por otra parte, en las regiones neutras (donde no es relevante un cambio de secuencia) suelen fijarse sustituciones $GC \rightarrow AT$. Esto sucede así gracias al fenómeno espontáneo DPT (Sueoka, 1962; Li, 1987; Bulmer, 1991).

Con esto en mente, el estudio del contenido G+C utilizando datos de haplotipos de SNPs en poblaciones humanas tiene doble interés; por una parte, podemos comparar el sesgo mutacional genómico ya conocido (asociado a todas las posiciones nucleotídicas), con el asociado exclusivamente a las posiciones variables (SNPs) en haplotipos humanos (este estudio). Por otro lado, podemos desglosar los datos por cromosoma y población, y comparar si existen diferencias para la composición G+C entre los distintos cromosomas, así como entre algunas de las poblaciones humanas que están mejor diferenciadas genéticamente.

Por tanto, este trabajo se centra en el estudio del contenido Guanina + Citosina (G+C) en posiciones variables (SNPs) en tres poblaciones humanas de distinta procedencia geográfica para, posteriormente, estudiar la presencia o ausencia de sesgo mutacional. Los datos provienen del proyecto HapMap (International HapMap Consortium, 2003) y las poblaciones estudiadas provienen de África, Asia y Centroeuroa. Se desarrolló un algoritmo eficiente para realizar la extracción y el conteo de bases nitrogenadas a nivel genómico. Posteriormente, se aplicaron pruebas estadísticas (Regresión lineal, ANOVA, Chi cuadrado) para comparar el contenido G+C a nivel poblacional y cromosómico.

Material y métodos

Obtención de datos

Los datos empleados en este trabajo se han obtenido del proyecto HapMap (International HapMap Consortium, 2003) y corresponden a los haplotipos de tres poblaciones humanas distintas: centroeuropea (CEU), japonesa-china (JPT-CHB) y africana (YRI). Un haplotipo puede definirse como una combinación de alelos de distintos loci en una región cromosómica. Para referirse a las variaciones nucleotídicas (alelos) dentro de un mismo locus se utiliza el acrónimo SNP (por sus siglas en inglés, Single Nucleotide Polymorphism). Por tanto un haplotipo se puede definir también como un conjunto de SNPs pertenecientes a distintos locus que tienden a transmitirse juntos por estar en una misma región cromosómica. Se emplearon todos los cromosomas exceptuando los sexuales (22 cromosomas en total). El formato de los datos descargados de HapMap consiste en ficheros (uno por cada población y cromosoma) que contienen información sobre cada SNP, su posición dentro del cromosoma, el código del individuo de la muestra y el número de cromosoma. El número de SNPs y el número de individuos muestreados en cada población aparecen indicados en la Tabla 1.

			Individuos	SNPs
CEU	Centroeuropea	Residentes en Utah con ancestros del norte y este europeo.	36	116.147
JPT-CHB	China	Residentes en Beijing procedentes de la etnia Han.	342	
	Japonesa	Japoneses residentes en Tokio.		
YRI	Africana	Tribu yoruba en Ibadan, Nigeria.	20	

Tabla 1. Procedencia y tamaño de las muestras empleadas en este trabajo (<ftp://ftp.ncbi.nlm.nih.gov/hapmap/>).

La lectura y manejo de los datos, formatos, así como los cálculos estadísticos se realizaron mediante el lenguaje de programación y paquete estadístico R (R Development Core Team, 2006) y en algún caso también en Microsoft Excel (2013).

Métodos estadísticos

Contraste para el sesgo mutacional (Test χ^2)

El sesgo mutacional implica la existencia de valores G+C diferentes del esperado si las probabilidades de mutación entre las diferentes bases fueran las mismas. En este caso, esperaríamos que el porcentaje de contenido G+C fuera del 50%. La existencia de sesgo mutacional es ya conocida para la variación neutra en la especie humana (Fu *et al.*, 2011). Para contrastar el sesgo mutacional en los datos haplotípicos utilizados en este trabajo, realizamos un test χ^2 en Excel.

Además, realizaremos también un test χ^2 con el objetivo de comprobar si existe alguna diferencia significativa entre el contenido G+C de los haplotipos de SNPs y el G+C cromosómico (todas las posiciones del cromosoma sean fijas o polimórficas). Para ello, primeramente se calculó el contenido G+C promedio de todos los individuos para cada población (valor observado) y se comparó con el valor esperado (50% para contrastar sesgo mutacional, y el valor de referencia para los cromosomas humanos para realizar la última comparación mencionada).

Modelo lineal de dos factores: ANOVA multivariante en R

El objetivo principal de este análisis es averiguar si hay diferencia significativa en el contenido de G+C entre las poblaciones y/o los cromosomas estudiados. Para ello, se llevó a cabo un ANOVA multivariante.

ANOVA Multivariante

El análisis ANOVA (de sus siglas en inglés ANalysis Of VAriance) es una colección de modelos estadísticos que se emplean para determinar cuándo un conjunto de datos pertenece a una misma muestra (y todas sus diferencias con respecto a la media pueden ser explicadas debido a errores aleatorios) o pertenece a muestras diferentes (existe un factor población) (Martínez, 2008). En nuestro caso, realizamos un modelo lineal de dos factores con interacción, en el que todo valor observado puede ser descompuesto en media (μ), efecto factor 1 (efecto poblacional, α), efecto factor 2 (efecto cromosoma, β), efecto de la interacción entre los factores población y cromosoma ($\alpha\beta$) y efecto aleatorio (ε).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha_i\beta_j) + \varepsilon_{ij}$$

Para realizar el ANOVA multivariante en R se usó la función `aov`, en la que se fijó la variable dependiente e independiente. Esto con el propósito de averiguar si las variables están relacionadas entre sí. La sintaxis fue la siguiente:

ANOVA=aov (GC_Content~Population*Chromosome, tablaANOVA)

Primero se escribió la variable dependiente; contenido de G+C (“GC_Content”), y después se especificaron las independientes; “Population” (población) y “Chromosome” (cromosoma). Finalmente, se indica que los datos para llevar a cabo el ANOVA se encuentran en la estructura de datos (dataframe) llamada tablaANOVA.

Población	Individuo	Cromosoma	Contenido G+C
1	1	1	52,6
1	2	1	52,5
1	3	1	52,6
1	4	1	52,7
1	5	1	52,6
1	6	1	52,9
1	7	1	52,9

Tabla 2. Fragmento de los datos tabulados listos para ser analizados por la función aov de R. Los factores aparecen agrupados en columnas y las poblaciones codificadas en números.

En el ANOVA aplicado se estudió la relación existente entre pertenecer a una población y poseer una cantidad determinada de G+C y si esta cantidad en cada cromosoma dependía del factor población. Para ello, fue necesario adaptar las tablas de datos a un formato especial requerido por la función ANOVA. Este formato requería volcar todos los datos de todas las poblaciones y de cada individuo en una sola tabla, separando los factores en columnas (población, individuo, cromosoma, contenido GC). Además, las poblaciones tuvieron que ser codificadas en forma de números (1=CEU, 2=YRI, 3=JPT-CHB). Como ejemplo, ver la Tabla 2.

Una vez obtenida, se aplicará la función aov de R. De esta manera, se obtendrá una tabla resultado donde se observen los niveles de significación para los emparejamientos establecidos.

Realización de controles para el ANOVA

Debido al procesamiento que tienen los datos desde la fuente original hasta que finalmente se obtiene el resultado del ANOVA, es necesario verificar que no han sufrido modificaciones y que todos siguen correctamente emparejados (datos de población con sus correspondientes datos de contenido G+C, contenido de G+C con el cromosoma correspondiente, etc...); también es necesario asegurarse de que no hay contenido duplicado o ausente.

Para ello, se llevan a cabo cuatro controles diferentes en los que se modifican los datos de entrada al programa (de tal manera que se puede predecir el resultado). Estos datos son procesados automáticamente por el script que los agrupará y transformará en una tabla adecuada para posteriormente aplicar el ANOVA y arrojar un resultado que será el que se evalúe. Si no coincide con el resultado esperado, habría que revisar el código.

Los cuatro controles son los que figuran en la Tabla 3.

CONTROL 1	Consiste en una tabla con los datos de la misma población repetidos 3 veces; por tanto, se elimina cualquier efecto posible de población. En este caso, se repitió la población CEU. De esta manera podremos asegurarnos de que, si el código es correcto, esperamos que no haya efecto en el factor poblacional.
CONTROL 2	Consiste en una tabla con los datos del cromosoma 1 de cada población repetidos 22 veces. Por tanto, eliminamos cualquier posible efecto de cromosoma. En este caso, esperamos que no haya efecto de cromosoma.
CONTROL 3	Se va a eliminar cualquier efecto de población y cromosoma. Para ello se usa el cromosoma 1 de CEU para reemplazar el resto de los cromosomas en todas las poblaciones (CEU, YRI y JPT-CHB). De esta manera, esperamos que no haya efecto ni de población ni de cromosoma.
CONTROL 4	Se va a contrastar la media y varianza del contenido G+C de la tabla que entra en el ANOVA con la media y varianza de las tablas G+C obtenidas tras realizar el conteo desde los datos originales. Este control tiene el objetivo de detectar cualquier error relacionado con la transferencia de datos de las tablas originales a las tablas del ANOVA. Bien porque no se copien todos o porque haya datos que se repiten. De esta manera, la media y la varianza entre las dos tablas tiene que ser la misma.

Tabla 3. Controles empleados para verificar la validez de los datos usados para calcular el ANOVA.

Función para el modelo lineal de dos factores

Una vez obtenidos los resultados del ANOVA y comprobado que existe una relación entre las variables estudiadas, se aplicó la función de R lm. Esta función corresponde al modelo lineal de dos factores ya aplicado en el ANOVA y ofrece una salida más detallada de las interacciones entre factores que la función previa aov (Adler, 2009). Se empleó el mismo dataframe y sintaxis que para aov:

```
linearmod=lm(GC_Content~Chromosome*Population, tablaANOVA)
```

Finalmente se obtuvo un resumen del análisis mediante *summary (linearmod)* donde aparecían desglosadas las relaciones por cromosoma, población y sus interacciones.).

Resultados y discusión

Contenido G+C

Tras haber realizado el conteo de bases nitrogenadas en los haplotipos de las poblaciones, se representaron en una gráfica (Figura 2) el contenido en % G+C de los haplotipos de los cromosomas de cada población junto con el del genoma humano de referencia.

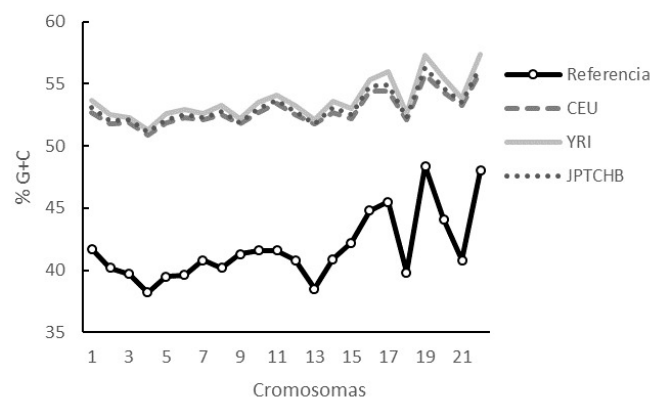


Figura 2. Comparativa del contenido de G+C de los haplotipos por cromosomas de las poblaciones CEU, YRI y JPT-CHB frente al genoma humano de referencia.

Contraste para el sesgo mutacional (Test χ^2)

Como se puede apreciar en la Tabla 4, para las comparaciones entre las posiciones variables (SNPs) de las 3 poblaciones y el valor de referencia, los valores p de la prueba Chi cuadrado (χ^2) son menores que el nivel de significación $\alpha=0,05$. Por tanto, el contenido en G+C es significativamente distinto para el genoma completo comparado con el asociado a las posiciones variables de cada población o de su promedio.

Población	Valor p ($\alpha=0,05$)
CEU vs referencia	7,1 E-07
YRI vs referencia	2,5 E-08
JPT-CHB vs referencia	5,8 E-07
Media vs referencia	2,3 E-07
Media vs sin sesgo mutacional	0,99979

Tabla 4. Resultado de la prueba Chi cuadrado en el supuesto de homogeneidad en el contenido G+C.

Se compara cada población con el GC del cromosoma de referencia y el promedio de las tres poblaciones con el cromosoma de referencia. En la última fila se indica el valor de la prueba para un supuesto de no sesgo.

El contenido G+C del genoma presenta sesgo mutacional pero no hay sesgo mutacional en el contenido G+C asociado a las posiciones variables.

Por tanto, parece interesante constatar que el sesgo mutacional conocido en cromosomas humanos hacia T+A, es decir % de G+C menor del 50 %, (Fu *et al.*, 2011) no se manifiesta cuando estudiamos únicamente las posiciones variables. Las posibles causas de esto podrían estar relacionadas con el estatus evolutivo de las posiciones variables identificadas en el HapMap, pero en cualquier caso se requiere un estudio más profundo para poder entender el resultado.

Realización de controles del proceso de transformación de datos previo al ANOVA

CONTROL 1

Factor	GL	Suma Cuadrados	F	P
Población	2	0	0	1
Cromosoma	21	3723	2755	<2e-16 (***)
Interacción	42	0	0	1
Códigos de signif.	0 (***) 0,05 (.)	0,001 (**) 0,1 (.)	0,01 (*) 1	

Tabla 5. Salida de la consola de R tras haber aplicado un ANOVA a una tabla con los valores de la población CEU sustituyendo los de YRI y JPTCHB. De esta manera se elimina el efecto de población.

El primer control (misma población) implicaba que en ningún caso el factor población podía ser significativo (el cromosoma podría serlo o no). Como se puede observar en la Tabla 5, el valor p para el factor población es 1, por lo que se acepta la hipótesis nula (las medias son iguales) y, por tanto, el resultado del primer control es satisfactorio.

CONTROL 2

El segundo control (misma cromosoma) implicaba que en ningún caso el factor cromosoma podía ser significativo (la población podría serlo o no). Como se puede observar en la Tabla 6, desaparece el efecto de cromosoma por lo que el resultado del segundo control es satisfactorio.

Factor	GL	Suma Cuadrados	F	P
Población	2	199	58,534	<2e-16 (***)
Cromosoma	21	10	0,270	1,000
Interacción	42	39	0,548	0,992
Códigos de signif.	0 (***) 0,1 (.)	0,001 (**) 1	0,01 (*)	0,05 (.)

Tabla 6. Salida de la consola de R tras haber aplicado un ANOVA a una tabla con el primer cromosoma de cada población repetido 22 veces (todos los cromosomas se sustituyeron por el número 1). De esta manera se elimina el efecto de cromosoma.

CONTROL 3

El tercer control (misma población y cromosoma) implicaba que ningún factor podía ser significativo. Como se puede observar en la Tabla 7, no hay efecto de cromosoma, población, ni interacción, por lo que el resultado del tercer control es satisfactorio.

Factor	GL	Suma Cuadrados	F	P
Población	2	0	0,000	1,000
Cromosoma	21	8	0,255	1,000
Interacción	42	31	0,508	0,997
Códigos de signif.	0 (***) (.)	0,001 (**) 0,1 (.)	0,01 (*) 1	0,05 (.)

Tabla 7. Salida de la consola de R tras haber aplicado un ANOVA a una tabla con los valores del cromosoma 1 de la población CEU sustituyendo todos los de YRI y JPT-CHB. De esta manera se elimina cualquier relación entre factores.

CONTROL 4

Los valores de ambas salidas, media y varianza de la tabla original (52,976 y 1,871), y de la tabla con formato ANOVA (52,976 y 1,871), coincidieron exactamente por lo que el resultado del cuarto control es satisfactorio.

ANOVA multivariante

Como ya se indicó en el apartado de Métodos, en el ANOVA se fijaron como variables independientes los factores población y cromosoma y como variable respuesta el contenido G+C.

Factor	G. Libertad	Sum. Cuadrados	Media	F valor	P
Población	2	203	101.6	1678.6	<2e-16
Cromosoma	21	15366	731.7	12093.2	<2e-16
Interacción	42	50	1.2	19.6	<2e-16
Residuos	8558	518	0.1		

Tabla 8. Salida del ANOVA tras aplicar la función de R aov.

El resultado de la prueba ANOVA (Tabla 8) es significativo para los factores población, cromosoma e interacción (valor $p < 2e-16$). Esto quiere decir que existen diferencias relevantes entre el contenido G+C de los factores y que esta diferencia también está presente cuando se tienen en cuenta posibles interacciones entre ambos elementos (población y cromosoma).

Modelo lineal de dos factores

El análisis del modelo lineal para desglosar la información de cada población y cromosoma utiliza uno de los valores como referencia. En el caso de las poblaciones la referencia es la población 1 que se compara con la 2 y la 3, en el caso de los cromosomas se emplea el 1 y en el análisis de la interacción se compara la población 1 (CEU) y el cromosoma 1 con el resto. Este es el motivo por el que no aparecen en los gráficos ni el cromosoma 1, ni la población CEU.

- Factor cromosoma:

Como se aprecia en la Figura 3, el factor cromosoma es significativo para todos menos para el 10 y 14; es decir, estos cromosomas dentro de cada población, no tendrían contenido G+C diferente con respecto al cromosoma 1.

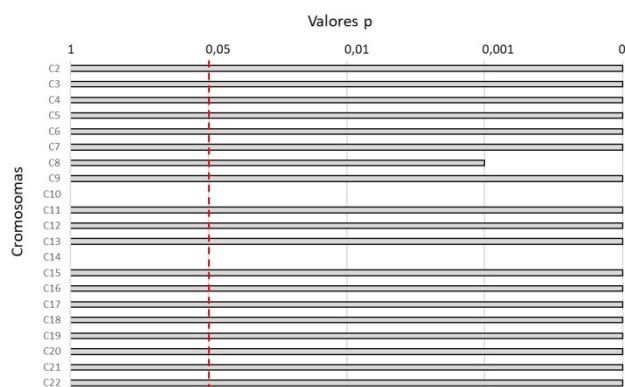


Figura 3. Resultado del contraste del factor cromosoma frente a contenido G+C. Aparecen representados los 21 cromosomas (el cromosoma 1 se emplea como intercepto).

- Factor población:

Como se aprecia en la Figura 4, el factor población es significativo en las dos comparaciones (CEU vs YRI y CEU vs JPT-CHB).



Figura 4. Resultado del contraste de los factores población frente a contenido G+C. Aparecen representados las 2 poblaciones en el eje Y (la 1 se emplea como intercepto) frente a su valor p.

Interacción cromosoma y población:

Una vez que sabemos que hay un efecto diferenciador de contenido G+C según se pertenezca a una población u otra y según se estudie un cromosoma u otro, nos interesa ahora saber si determinadas poblaciones interaccionan con determinados cromosomas a la hora de diferenciarse en su contenido G+C. En la Figura 5 se muestra el resultado del contraste de los factores cromosoma y población YRI frente al contenido G+C. Puede observarse como todos los cromosomas excepto el 16 y el 20 presentan interacción significativa con la población. Esto significa que, por ejemplo, si bien el efecto del cromosoma 2 es diferente al del resto de cromosomas, esta diferencia también se ve afectada según estemos evaluando este mismo cromosoma en la población europea (CEU) o la africana (YRI).

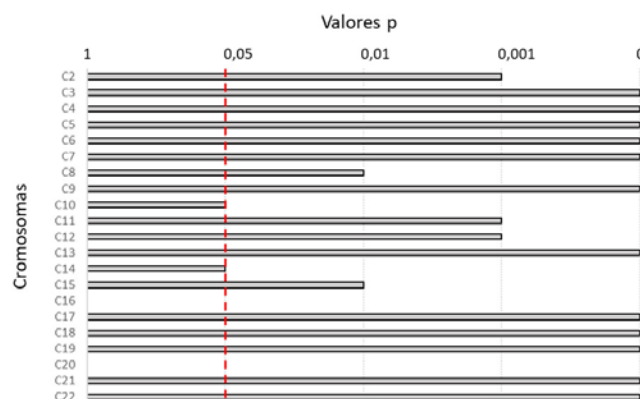


Figura 5. Resultado del contraste de los factores cromosoma y población 2 (YRI) frente a contenido GC. Aparecen representados los 21 cromosomas (el cromosoma 1 se emplea como intercepto) en el eje Y frente a su p-valor.

Factores cromosoma y población JPT-CHB

En la Figura 6 se muestra el resultado del contraste de los factores cromosoma y población JPT-CHB frente al contenido G+C. Puede observarse como los cromosomas 2, 5, 8, 9, 11, 13, 16, 17 y 18 presentan interacción significativa con la población.

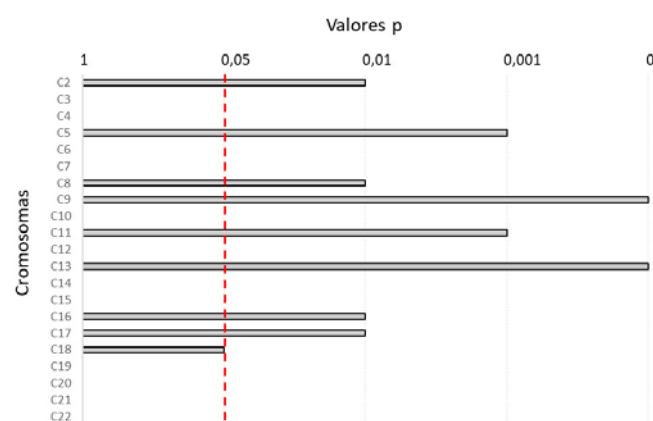


Figura 6. Resultado del contraste de los factores cromosoma y población 2 (YRI) frente a contenido GC. Aparecen representados los 21 cromosomas (el cromosoma 1 se emplea como intercepo) en el eje Y frente a su p-valor.

Los resultados expuestos parecen confirmar que hay diferencias en contenido G+C asociado a las posiciones variables en los distintos cromosomas, algo que ya era conocido para el genoma humano (Sabbia *et al.*, 2009). Sin embargo, raramente se ha estudiado de modo comparativo la composición G+C entre distintas poblaciones humanas (International HapMap Consortium, 2007; Dutta *et al.*, 2018) y hasta donde sabemos no se han estudiado posibles diferencias asociadas a determinados cromosomas y poblaciones (interacciones). Nuestros resultados parecen indicar que podría haber diferencias en la composición G+C dependientes de determinados cromosomas en poblaciones específicas. Sería interesante saber si las causas de estas diferencias podrían explicarse debido a diferencias históricas, selectivas, etc, asociadas a la composición genética específica de esos cromosomas en las poblaciones. Por ejemplo, cabría especular si pudieran estar relacionadas con alguna región del genoma donde se encuentran genes importantes tales como los del metabolismo o el desarrollo embrionario que pudieran haberse visto afectados de manera diferente a lo largo de la historia evolutiva en las distintas etnias humanas. Sin embargo, esto requiere un análisis mucho más profundo y completo que queda más allá de los objetivos de este trabajo.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el sesgo mutacional a favor de A+T (G+C < 50%), cuya existencia es conocida para el genoma humano, no parece cumplirse cuando nos fijamos en las posiciones variables (SNPs), al menos en aquellas presentes para los tamaños de muestra y las poblaciones estudiadas del proyecto HapMap.
- Se hallaron diferencias significativas en el contenido G+C entre las poblaciones y los cromosomas estudiados, así como interacciones significativas entre algunos cromosomas y poblaciones.
- Sería interesante indagar en las posibles causas de las diferencias en el contenido G+C encontradas.

Bibliografía

- Adler, J. (2009). *R in a nutshell, a desktop quick reference*. San Francisco, USA: O'Reilly.
- Bulmer, M. G. (1991). The selection-mutation-drift theory of synonymous codon usage. *Genetics*. 129: 897-907.
- Cockell, S. (2012). [on line]. GCc-Content across different human chromosomes. *Biostars*. <<https://www.biostars.org/p/16169/>> [Consultado 09/05/2018].
- Dutta, R., Saha-Mandal, A., Cheng, X., Qiu, S., Serpen, J., Fedorova, L., Fedorov, A. (2018). 1000 human genomes carry widespread signatures of GC biased gene conversion. *BMC genomics*. 19(1): 256. doi:10.1186/s12864-018-4593-1.
- Fu, L. Y., Wang, G. Z., Ma, B. G., Zhang, H. Y. (2011). Exploring the common molecular basis for the universal DNA mutation bias: Revival of Löwdin mutation model. *Biochem Biophys Res Commun*, 409(3): 367-371.
- Hernández, R. D., Williamson, S. H., Zhu, L., Bustamante, C. D. (2007). Context-dependent mutation rates may cause spurious signatures of a fixation bias favoring higher GC-content in humans. *Mol Biol Evol*. 24(10): 2196-2202.
- International HapMap Consortium. (2003). The international HapMap project. *Nature*. 426: 789-796.
- International HapMap Consortium. (2007). A second-generation human haplotype map of over 3.1 million SNPs. *Nature*. 449(7164): 851.
- Li, W. H. (1987). Models of nearly neutral mutations with particular implications for nonrandom usage of synonymous codons. *J Mol Evol*. 24(4): 337-345.
- Marais, G. (2003). Biased gene conversion: implications for genome and sex evolution. *Trends Genet*. 19: 330-338.
- Martínez, R. (2008). *El análisis multivariante en la investigación científica*. Madrid, España: La Muralla.
- Palidwor, G. A., Perkins, T. J., Xia, X. (2010). A general model of codon bias due to GC mutational bias. *PLoS One* 5(10): e13431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013431>.
- Sabbia, V., Romero, H., Musto, H., Naya, H. (2009). Composition profile of the human genome at the chromosome level. *J Biomol Struct Dyn*. 27(3): 361-369.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J. (1995). *Biometry*, New York, USA: W.H. Freeman and Company.
- Sueoka, N. (1962). On the genetic basis of variation and heterogeneity of DNA base composition. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. 48: 582-592.
- Yakovchuk, P., Protozanova, E., Frank-Kamenetskii, M. D. (2006). Base-stacking and base-pairing contributions into thermal stability of the DNA double helix. *Nucleic Acids Res*. 34(2): 564-574. doi:10.1093/nar/gkj454.

Estudio temporal de la biodiversidad de macroinvertebrados en lagunas de la Red Natura 2000

Trabajo Fin de Grado
Grado en Biología

Davila Fernández, M.

Tutora:
Josefina Garrido González

miriam_dafe@hotmail.com

Departamento de Ecología y
Biología Animal

Resumen

El objetivo de esta investigación es el estado de conservación, en los últimos 10 años, de cuatro lagunas de Galicia incluidas en la Red Natura 2000 y la eficacia de la misma, a partir del inventariado y seguimiento de uno de sus componentes bióticos fundamentales, los macroinvertebrados. En general, el estado de conservación del estado de estos humedales ha sufrido un deterioro en la última década como consecuencia del empobrecimiento de sus aguas y una menor diversidad de taxones.

Introducción

Como bien apuntan Piccini & Conde, 2005, los recursos biológicos son fundamentales para la humanidad, no sólo para la obtención de alimento, refugio y medicinas, sino también por los servicios ecológicos y funciones que permiten el mantenimiento de la Biosfera. Sin embargo, la actividad humana compromete seriamente la conservación de los recursos biológicos, provocando la degradación del ambiente y acarreando consecuencias como, por ejemplo, que el impacto de ciertos fenómenos climáticos se torne catastrófico.

Uno de los sistemas más importantes y productivos son los formados por aguas estancadas dulces. Albergan una gran biodiversidad y proporcionan una amplia variedad de bienes y servicios ecosistémicos para el bienestar humano y mundial (Dudgeon *et al.*, 2006), por lo que la conservación de este tipo de hábitats es primordial.

Estrictamente, según la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (Convención Ramsar, 1971), los humedales son las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Los humedales son uno de los ecosistemas más productivos del mundo (Mitsch & Gosselink, 2000) y su valor reside en las funciones que desempeñan como sistemas naturales, así como su contribución a la productividad económica y social (Dudgeon *et al.*, 2006). Albergan una gran diversidad biológica y riqueza específica (Shine & Klemm, 1999). En ellos, se encuentran numerosas especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces, invertebrados, multitud de vegetación, y actúan como fuentes de agua, productividad primaria y refugio para los mismos (Casado & Montes, 1995; Valladares *et al.*, 2002; The Ramsar Convention Secretariat, 2014). Además, participan en

procesos generales de la biosfera como la producción de materia orgánica, el reciclado de nutrientes y el mantenimiento de las redes tróficas, así como en la mitigación del cambio climático (Casado & Montes, 1995; Shine & Klemm, 1999; Valladares *et al.*, 2002).

A pesar de la enorme importancia de los humedales tanto a nivel ecológico, como social y económico, debido a su fragilidad y a la acción humana, como por ejemplo la eutrofización y la contaminación orgánica, son uno de los sistemas más amenazados en todo el mundo (Shine & Klemm, 1999; Piccini & Conde, 2005; Solimini *et al.*, 2008). Durante las últimas décadas se produjo un gran deterioro y pérdida de la superficie y calidad de los humedales de todo el mundo. Las principales causas de su merma y desecación fueron el rápido crecimiento poblacional, la industrialización y urbanización, su utilización como nuevas tierras de cultivo, su contaminación, e incluso la creencia de que eran focos infecciosos (Casado & Montes, 1995; Valladares *et al.*, 2002; Piccini & Conde, 2005; Oscoz *et al.*, 2006; Solimini *et al.*, 2008).

Para la protección y conservación de estos hábitats se creó la Red Natura 2000, una red ecológica europea creada en 1992, de áreas de conservación de la biodiversidad que consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), y Zonas de Especial Protección para las Aves (SEPA) (MAPAMA, 2011). El objetivo de esta red es establecer las bases legales para garantizar la conservación, en un estado favorable, de determinados tipos de hábitat y especies en sus áreas de distribución natural. Por otro lado, en el año 2000 también se creó la Directiva Marco del Agua (DMA), la cual su objetivo principal es el de evitar la degradación y promover la restauración de los ecosistemas acuáticos más degradados hasta alcanzar una buena calidad (Trigal, 2006).

Para evaluar y valorar el estado de conservación o deterioro, en el intervalo de 10 años, de las cuatro lagunas seleccionadas de diferentes LIC de la geografía gallega, se planteó su estudio a

muestreó una charca temporal en la zona conocida como “Gándaras de Melide” (Figura 3).

2. LIC Serra do Xistral



Figura 4. Charca distrófica de Abadín (LIC Serra do Xistral)

El LIC Serra do Xistral se sitúa en las Sierras Septentrionales de la provincia de Lugo, Galicia. En estas sierras se encuentra uno de los escasos complejos de turberas del continente europeo (Sevillano & Rego, 2001; Xunta de Galicia, 2011). Dentro de esta zona protegida se encuentran varios tipos de hábitat de agua estancada según la Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CE): aguas estancadas, oligotróficas o mesotróficas (3130) y lagos y estanques distróficos naturales (3160) (Xunta de Galicia, 2007). En este LIC el muestreo se realizó en una charca distrófica natural en el municipio de Abadín (Figura 4).

3. LIC Parga-Ladra-Támoga



Figura 5. Laguna de Cospeito (LIC-Parga-Támoga)

Este LIC incluye los principales cursos fluviales de la cuenca alta de la mayor cuenca hidrográfica de Galicia: la cuenca del Miño. Los humedales incluidos en este LIC se encuentran protegidos por la Red Natura 2000 y por la Reserva de la Biosfera Terras do Miño (Xunta de Galicia, 2007). Dentro de esta zona protegida se encuentran varios tipos de hábitat de

agua estancada según la Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CE): aguas oligotróficas con un contenido de minerales muy bajo de las llanuras arenosas (3110), aguas oligotróficas con un contenido de minerales muy bajo sobre suelos arenosos (3120), aguas estancadas, oligotróficas o mesotróficas (3130), aguas oligomesotróficas calcáreas (3140) lagos eutróficos naturales (3150), lagos y estanques distróficos naturales (3160) y estanques temporales mediterráneos (Xunta de Galicia, 2007). Se muestrearon dos de las lagunas presentes en este LIC: Cospeito (Figura 5) y Caque (Figura 6). En los años 50, los humedales de Cospeito y Caque fueron desecados por el Instituto Nacional de Colonización Agraria (INCA) para la obtención de tierras de cultivo, lo que supuso una pérdida significativa de su biodiversidad. A finales del siglo XX, fueron declaradas Espacio de Interés Natural, y posteriormente Lugar de Interés Comunitario (LIC) gracias a la creación de la Red Natura 2000 y a la Rede Galega de Espazos Naturais Protexidos (Ramil Rego et al., 2006; MAPAMA, 2011).



Figura 6. Laguna de Caque (LIC Parga-Ladra-Támoga)

Para poder abarcar todos los microhábitats presentes en cada estación de las lagunas, se realizaron muestreos semicuantitativos de forma intensiva. El muestreo semicuantitativo permite realizar comparaciones entre estaciones, ya que el esfuerzo de muestreo se supone equivalente (García-Criado & Trigal, 2005; Garrido & Munilla, 2008). En cada punto se tomaron 3 réplicas de 60 segundos cada una, por lo que se muestreó un total de 3 minutos en cada estación (Briers & Biggs, 2005; Pérez-Bilbao et al., 2011).



Figura 7. Muestreo realizado en una laguna con la manga entomológica acuática específica

El material utilizado para poder llevar a cabo el trabajo de campo constó de: botes y botellas de plástico de diferentes

tamaños, pinzas, agua destilada, etanol al 99 %, bandeja de plástico, embudo, coladores, aparato multiparamétrico, etiquetas, papel, cuaderno de campo, lápices, rotuladores indelebles, botas, mapa y cámara digital. La captura de los ejemplares se llevó a cabo con una manga entomológica acuática de 500 μ m de luz de malla, 30 cm de diámetro y 60 cm de fondo, como se puede apreciar en la figura 7. Posteriormente, el material recolectado fue preservado con etanol al 99 % y transportado al laboratorio para su identificación (Pérez-Bilbao et al., 2011). Los especímenes se identificaron a nivel de especie para la mayoría de los grupos taxonómicos y se contaron.

Para la identificación de los ejemplares de macroinvertebrados en el laboratorio se utilizó: lupa Nikon SMZ645, lámpara halogenada para una mejor observación, botes de plástico con los ejemplares recolectados, placas de Petri, pinzas, punzón, pipeta Pasteur, bandejas de plástico, botes pequeños de plástico, gradilla, tijeras, etiquetas, rotuladores indelebles, cuaderno de laboratorio, lápiz, papel, viales para el almacenaje de los ejemplares, bata de laboratorio, bidón de residuos, claves de identificación Williams & Feltnate (1994), Sansoni (2001), Tachet et al., (2003), González et al., (2006). Los ejemplares identificados se guardaron en etanol al 70 % en viales etiquetados y cerrados herméticamente. Los especímenes se encuentran depositados en la colección entomológica del Departamento de Ecología y Biología Animal de la Universidad de Vigo.

Resultados

Para evaluar el estado de la estructura de la comunidad en cada una de las lagunas se utilizaron 3 parámetros: abundancia, riqueza específica y diversidad.

El estudio taxonómico de los ejemplares capturados, un total de 65625, permitió la identificación de distintos individuos pertenecientes a distintos taxones: filo Nematoda, subfilo Crustacea, clases Gastropoda y Bivalvia, clases Oligochaeta e Hirudinea, y 34 familias de los órdenes Isopoda, Collembola, Coleoptera, Megaloptera, Lepidoptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata, Heteroptera y Diptera.

1. Abundancia

El primero de los parámetros ecológicos de la comunidad estudiado es la abundancia. Se realizó este cálculo para cada una de las lagunas, así como la variación temporal de la misma. En la campaña de muestreo de primavera del 2007 se capturaron un total de 47864 individuos pertenecientes a diferentes taxones, mientras que en 2017 fueron 65625. De entre los individuos capturados en 2007, el que presenta un mayor valor de abundancia es el subfilo Crustacea, con un total de 36925 ejemplares, seguido por el orden Diptera con un total de 4541; Odonata, Coleoptera y Gastropoda también están ampliamente representados en las 4 lagunas (Figura 8).

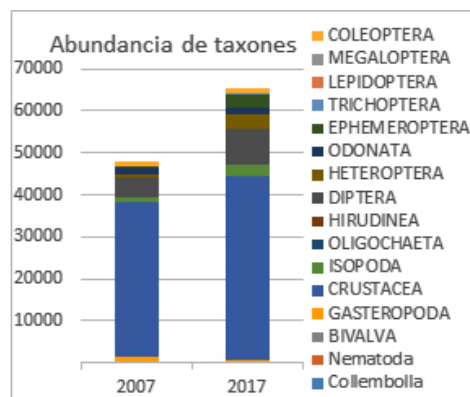


Figura 8. Abundancia taxonómica, con un intervalo de 10 años, en las lagunas estudiadas

De la misma forma, en 2017, de entre los individuos capturados también destaca la elevada abundancia del subfilo Crustacea, con un total de 43929 individuos, ligeramente mayor que en 2007. Al igual que con Diptera, donde también se observa una elevada abundancia. Isopoda, Heteroptera y Ephemeroptera también presentan valores elevados (Figura 9).

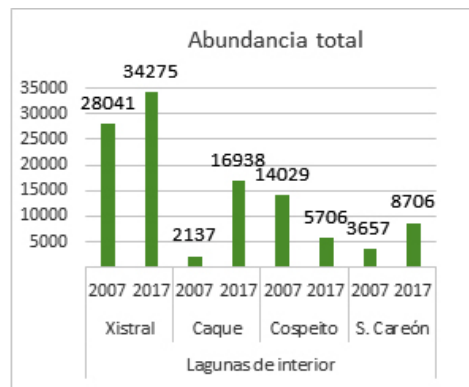


Figura 9. Abundancia total den las cuatro lagunas muestreadas en las campañas del 2007 y 2017.

Así pues, en la Figura 9 podemos observar la comparación de abundancias en las 4 lagunas entre la campaña de 2007 y la realizada en 2017. En primer lugar, destaca la elevada abundancia que presenta la laguna de Abadín (LIC Xistral) en relación con las demás lagunas muestreadas, siendo especialmente de menor tamaño que las pertenecientes al LIC Parga-Ladra-Támoga y de tamaño similar a la presente en el LIC Serra do Careón. Así mismo, también podemos observar un incremento en la abundancia en esta laguna con respecto a 10 años atrás. También en este intervalo de tiempo, la laguna de Caque (LIC Parga-Ladra-Támoga) experimentó un importante incremento en su abundancia. En cambio, la segunda laguna perteneciente a dicho LIC, sufrió un descenso de más de la mitad de su abundancia y, la laguna temporal de la Serra do Careón, presenta también una abundancia baja, aunque ésta haya incrementado.

Los valores elevados de abundancia indicarían una buena calidad del agua. La elevada abundancia de la laguna de Abadín (LIC Xistral) sería indicativo de un buen estado de calidad del agua y por consiguiente de la laguna. En cuanto a las lagunas de Melide y Caque, se puede observar un aumento en dicho

parámetro, aunque siga siendo relativamente bajo. La laguna de Cospeito, por su parte, experimentó una disminución en su abundancia, indicativo, probablemente, de un descenso de la calidad del agua o una contaminación, perjudicando el estado de conservación de la misma.

2. Riqueza específica

El segundo parámetro ecológico estudiado es la riqueza específica (S). La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad y el parámetro más utilizado para la conservación. Nos indica el número de taxones presentes en un lugar determinado y, a pesar de su sencillez, aporta información acerca del estado y la estructura de la comunidad (Gotelli & Colwell, 2001; Moreno, 2001; Hortal et al., 2006).

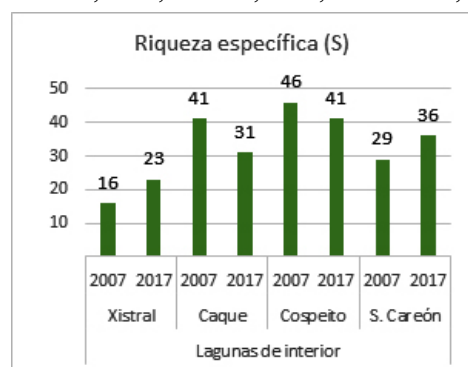


Figura 10. Comparación de la riqueza específica en las lagunas muestreadas en los años 2007 y 2017

En la figura 10 se observa cómo la riqueza en las lagunas de Caque y Cospeito, pertenecientes ambas al LIC Parga-Ladra-Támoga, sufrieron una disminución en la última década, aunque son las que presentan una mayor riqueza. En cambio, tanto la charca distrófica de Abadín (LIC Serra do Xistral), como la charca temporal de Melide (LIC Serra do Careón) experimentaron un aumento en su riqueza.

De la misma forma que ocurre con la abundancia, valores elevados de riqueza específica podrían ser indicativos de un buen estado de conservación del ecosistema; lo contrario ocurriría con un bajo valor de la misma, lo cual supondría un deficiente estado de la comunidad. Además, se considera que en las aguas contaminadas se reduce el número de especies debido a la desaparición de las más sensibles (Pérez-Bilbao, 2010). Por lo tanto, el descenso de la riqueza específica de las lagunas pertenecientes al LIC Parga-Ladra-Támoga podría ser indicativo de un deterioro o descenso en la calidad del agua y del propio ecosistema. En cambio, en las lagunas más pequeñas, Abadín y Melide, el incremento en su riqueza podría deberse a una mayor calidad de las aguas y por lo tanto un mejor estado de conservación en relación al año 2007.

3. Diversidad

El último parámetro ecológico utilizado para medir el estado de las lagunas es la diversidad. Se calcula utilizando el índice de diversidad de Shannon y expresa la uniformidad de todos los valores de importancia a partir de las especies de la muestra (Moreno, 2001). Además, asume que los individuos son muestreados al azar y que todos los taxones están representados

en la muestra, y el rango habitual de valores suele encontrarse entre 1,5 y 3,5 para ecosistemas en buen estado de conservación (Magurran, 1989).

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde p_i representa la abundancia proporcional del taxón i y $p_i = n_i / N$, siendo n_i el número de individuos del taxón i y N la abundancia total de individuos.

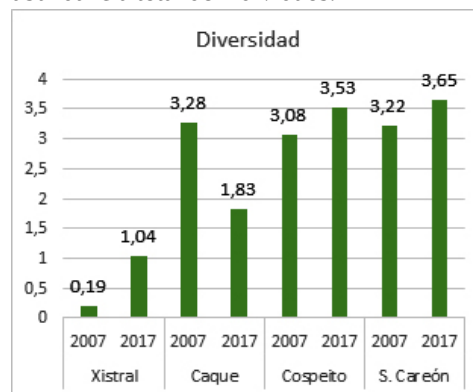


Figura 11. Diversidad de cada una de las lagunas muestreadas en las campañas del 2007 y 2017

En la figura 11 se puede observar la variación espacial y temporal de la diversidad. Destaca la baja diversidad que presenta la laguna de Abadín (LIC Xistral) tanto en el año 2007 como en 2017. Valores tan bajos de diversidad (en ninguno de los años llega a 1) indican una mala calidad del agua de esta laguna, lo que se traduce en un menor número de taxones e individuos capaces de sobrevivir a estas condiciones (Pérez-Bilbao, 2010). La laguna de Caque experimentó un descenso en su diversidad respecto con el año 2007, aunque su valor se mantiene dentro de los valores habituales. En el caso de la laguna de Cospeito, su diversidad aumentó hasta el límite de 3,5; en la laguna de Melide también aumentó la diversidad, aunque en este caso supera el límite de valores habituales, por lo que es indicativo de un deficiente estado de conservación de la misma.

Los datos obtenidos en 2017 pueden haberse visto condicionados por diversos factores en el momento del muestreo, como condiciones climatológicas adversas o contaminación de las lagunas. Para poder obtener conclusiones más exactas sobre el estado de conservación de las lagunas 10 años después, sería necesario analizar y estudiar también los parámetros fisicoquímicos de las mismas, ya que aportarían mayor información sobre la eficacia de los LIC en su conservación.

En un principio, cabría esperar que las lagunas estudiadas presentaran buena calidad del agua y elevada abundancia, riqueza y diversidad de taxones de macroinvertebrados debido a que están incluidas en figuras de protección, los LIC de la Red Natura 2000, el cual su principal función es mantener o mejorar su estado de conservación.

Es importante mantener un seguimiento de estos hábitats a través de diferentes variables faunísticas y fisicoquímicas

durante un periodo de tiempo determinado para conocer su estado de conservación y, detectar así, posibles cambios en la dinámica de los ecosistemas.

Conclusiones

- Se identificaron y estudiaron 47.864 individuos (campaña 2007) y 21.875 ejemplares (campaña 2017) pertenecientes a diferentes taxones: filo Nematoda, subfilo Crustacea, clases Gastropoda, Bivalvia, clases Oligochaeta e Hirudinea, y 34 familias de los órdenes Isopoda, Collembola, Coleoptera, Megaloptera, Lepidoptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata, Heteroptera y Diptera.
- La laguna distrófica de Abadín (LIC Xistral) experimentó un aumento en su abundancia de individuos, riqueza específica y diversidad de taxones. A pesar de que los parámetros ecológicos de riqueza específica y diversidad siguen siendo valores bajos, el conjunto de los mismos indican un mejor estado de conservación de la laguna respecto con el año 2007.
- En la laguna de Caque (LIC Parga-Ladra-Támoga), su abundancia aumentó significativamente en la última década, aunque sigue siendo un valor bajo. En cuanto a su riqueza específica, ésta disminuyó en 2017, al igual que la diversidad de taxones aunque se mantiene dentro del rango habitual, lo que indica una pérdida de taxones y un descenso en la calidad del ecosistema.
- La laguna de Cospeito (LIC Parga-Ladra-Támoga), experimentó un descenso en su abundancia y riqueza específica y un aumento en su diversidad de taxones, manteniéndose en su rango habitual. Estos resultados son indicativo de un empobrecimiento en la calidad del agua y en su fauna acuática y, por lo tanto, en el estado de calidad de su ecosistema.
- La laguna de Melide (LIC S.Careón) sufrió un aumento en todos sus parámetros ecológicos, incluido la diversidad de taxones, superando el rango habitual que indica una buena calidad del agua. El valor de diversidad, junto con el bajo valor de abundancia, podría indicar una deficiencia en el estado de conservación de la laguna. do fluxo.

Bibliografía

- Briers, R. A., & Biggs, J. (2005). Spatial patterns in pond invertebrate communities: separating environmental and distance effects. *Aq. Conserv.: Mar. Freshw. Ecos.*, 15 (6), 549-557.
- Casado, S., & Montes, C. (1995). Guía de los lagos y humedales de España. Madrid: J.M. Reyero Editor.
- Convención Ramsar, 1971. Los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. UN Treaty Series No. 14583. Modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982, y las Enmiendas de Regina, 28 de mayo de 1987. UNESCO. Ramsar, Irán.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny, M.L.J. & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol. Reviews*, 81 (2): 163-182.
- Espinoza, N., & Morales, F. (2008). Macroinvertebrados bentónicos de la laguna Las Peonías, Estado Zulia, Venezuela. *Boltn. Cntr. Invest. Bio.*, 42 (3): 345-363.
- García-Criado, F., & Trigal, C. (2005). Comparison of several techniques for sampling macroinvertebrates in different habitats of a North Iberian pond. *Hydrobiologia*, 545(1): 103-115.
- Garrido, J., & Munilla, I. (2008). Aquatic Coleoptera and Hemiptera assemblages in three coastal lagoons of the NW Iberian Peninsula: assessment of conservation value and response to environmental factors. *Aq. Conserv. Mar. Freshw. Ecos.* 18 (5): 557-569.
- González González, M., Cobo Gradín, F., Servia García, M., & Vieira Lanero, R. (2006). Macroinvertebrados de las aguas dulces de Galicia. A Coruña. Hércules de Ediciones.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol. Letters*, 4 (4): 379-391.
- Hortal, J., Borges, P. A., & Gaspar, C. (2006). Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. *J. Anim. Ecol.* 75 (1): 274-287.
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. E-Revista de Didáctica I*, 1-18.
- Magurran, A.E., 1989. Diversidad ecológica y su medición. Vedra (ed.). Barcelona.
- Martínez-Bastida, J. J., Arauzo, M., & Valladolid, M. (2006). Diagnóstico de la calidad ambiental del río Oja (La Rioja, España) mediante el análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. *Limnology*, 25 (3): 733-744.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio ambiente (Mapama). (2011). Red Natura 2000. Recuperado el 26 de Abril de 2018 en <http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Eco. Ecomcs.*, 35(1): 25-33.
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España: GORFI S.A.
- Oscos, J., Campos Sánchez-Bordona, F., & Escala, M. D. C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnology*, 25 (3): 683-692.
- Pérez-Bilbao, A. (2010). Coleópteros acuáticos (Adephaga y Polyphaga) de las Gándaras de Budiño, zona LIC (Red Natura 2000): faunística, ecología y fenología. *Bol. BIGA*, (7): 7-69.
- Pérez-Bilbao, A., Benetti, C. J., & Garrido, J. (2011). Nuevas aportaciones al conocimiento de la familia Helophoridae en Galicia (NO España) (Coleoptera). *Bull. Soc. Ent. Fr.*, 116 (1): 35-41.
- Piccini, C. & Conde, D. (2005). Cambios drásticos en la comunidad bacteriana de la laguna de Rocha y sus posibles implicaciones ambientales. *Agrociencia*. 9 (1-2): 269-275

- Ramil Rego, P., Domínguez Conde, J., Vidal Malde, M.J., Rubinos Román, M., Cillero Castro, C., Romero Buján, M.I., Rodríguez Guitián, M., Gómez-Orellana Rodríguez, L., Muñoz Sobrino, C., Vázquez Fernández, M., (2006). A Lagoa de Cospeito [archivo PDF]. Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible. Santiago de Compostela. Recuperado de http://cmaot.xunta.gal/c/document_library/get_file?folderId=157643&name=DLFE-13002.pdf
- Sanconi, G. (2001). Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d'acqua italiani. 4ª Edición. Trento, Italia: APR & B Editrice.
- Sevillano, J. I., & Rego, P. R. (2001). Análisis y valoración de la Sierra de O Xistral: un modelo de aplicación de la Directiva Hábitat en Galicia. Xunta de Galicia y Consellería del Medio Ambiente.
- Shine, C., & De Klemm, C. (1999). Wetlands, water, and the law: Using law to advance wetland conservation and wise use. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN (Nº38).
- Solimini, A. G., Bazzanti, M., Ruggiero, A., & Carchini, G. (2008). Developing a multimetric index of ecological integrity based on macroinvertebrates of mountain ponds in central Italy. *Hydrobiologia*, 597 (1): 109-123.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournard, M. & Usseglio-Platera, P. (2003). Invertébrés d'eau douce systématique, biologie, écologie. Paris, France: CNRS Éditions.
- The Ramsar Convention Secretariat. (2014). Switzerland. Recuperado el 22 de Mayo de 2018 de <https://www.ramsar.org/es>
- Trigal, C. (2006). Evaluación del estado ecológico de las lagunas esteparias de la depresión del Duero: ¿son los macroinvertebrados buenos indicadores? Tesis doctoral. Universidad de León, 243.
- Valladares, L. F., Garrido, J., & García-Criado, F. (2002). The assemblages of aquatic Coleoptera from shallow lakes in the northern Iberian Meseta: Influence of environmental variables. *Euro. J. Ent.*, 99 (3): 289-298.
- Williams, D., & Feltmate, B. (1994). Aquatic insects. Wallingford: CAB International.
- Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. (2011). Rede Natura 2000. Recuperado el 9 de Junio de http://cmaot.xunta.gal/seccion-tema/c/Conservacion?content=Direccion_Xeral_Conservacion_Natureza/Espazos_protexidos/seccion.html&sub=Rede_natura_2000/

Análisis del crecimiento de hongos con interés nutracéutico sobre diversos sustratos vegetales: optimizando dos protocolos de cultivo miceliar

Trabajo Fin de Grado
Grado en Biología

Tutora:
Marisa Castro Cerceda

Departamento de Biología Vegetal
y Ciencias del Suelo

Vázquez Fernández, E.

evavf25@gmail.com

Resumen

Con este trabajo se pretende realizar un análisis comparado del crecimiento de dos hongos macromicetos, *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*, en dos sustratos vegetales uno de procedencia comercial, pellet de paja, y otro de procedencia natural, constituido básicamente por eucaliptos y palmeras. Se sembraron los micelios de ambas especies en cada uno de los sustratos, se incubaron en estufa y se midió diariamente su crecimiento, posteriormente se realizaron los análisis estadísticos pertinentes con el fin de saber cuál de los sustratos es más rentable para el cultivo de cada una de las especies. Durante la realización de los cultivos se detectaron problemas de crecimiento, por lo cual se proponen modificaciones para optimizar los protocolos.

Introducción

En la actualidad se considera que los eumicetos son organismos eucariotas, sin flagelos, que se reproducen sexualmente por esporas gaméticas, presentan quitina en sus paredes celulares, carecen de clorofila (heterótrofos), presentan digestión externa (lisis y absorción) y la sustancia de reserva que almacenan es glucógeno. Son químicamente mucho más parecidos a los animales que a las plantas (Alexopoulos *et al.*, 1996).

Al ser heterótrofos necesitan obtener la materia orgánica elaborada a partir de otros organismos, ya sea mediante restos orgánicos muertos (saprotróficos) o de organismos vivos por relaciones mutualistas o parásitas (biotróficos). Además, para poder cultivar o «domesticar» hongos silvestres es necesario tener en cuenta que el hongo está formado por dos partes bien diferenciadas: la vegetativa o micelio y el cuerpo fructífero (basidioma o ascoma) portador de las esporas gaméticas. En general el micelio se encuentra subterráneo, protegido del exceso de luz y la desecación causada por el ambiente (Castro *et al.*, 2005).

Por ello, los hongos que muestran mayor interés para ser cultivados son los que presentan unas características fisiológicas y ecológicas mejor conocidas, así que a excepción de las trufas (*Tuber* sp) que se incluyen en el phylum Ascomycota, pertenecen a Basidiomycota, como la cola de pavo (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) y la seta ostra (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm.) que, con cierta facilidad, producen fructificaciones.

El cultivo de hongos saprotróficos se practica desde hace más de 4.000 años sobre troncos de madera en China y, probablemente, comenzó con la oreja de Judas (*Auricularia auricula-judae* (Bull.) Quél.), (Sierra *et al.*, 2002) y, en la

Roma antigua era habitual recolectar la seta de chopo (*Cyclocybe aegerita* (V. Vrig) Vizzini) para frotarla sobre cepas cortadas o troncos de estos árboles (*Populus* sp) y así obtener alimento fácil durante el verano y el otoño (Sierra *et al.*, 2002). Sin embargo, el cultivo se normaliza en Francia, a partir del año 1650, cuando se realizaron los primeros intentos para cultivar el champiñón de París (*Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach).

El consumo de hongos silvestres por parte del ser humano se remite a la prehistoria, incluida la Península Ibérica (Strauss *et al.*, 2015), y continúa existiendo hasta la actualidad; pero, con el aumento poblacional de las últimas décadas, el consumo ha aumentado considerablemente al verificar que, además de mostrarse como excelentes elementos culinarios, poseen propiedades nutracéuticas, son alimentos en los que se han descrito numerosas propiedades beneficiosas para la salud, entre las que destaca el alto contenido en minerales y vitaminas, el significativo aporte de numerosos aminoácidos esenciales y las importantes propiedades carcinostáticas, hipocolesterolemiantes, inmunoreguladoras e hipotensoras que se han detectado en ellos (Suárez & Holguín., 2011).

Otro aspecto interesante, relacionado con la fungicultura, es su uso para la biorremediación de suelos contaminados (Castillo, 2005; Coello, 2011) o la degradación de residuos forestales mediante el cultivo de macromicetos con capacidades nutracéuticas. Por ello, en los últimos años, los países productores de madera han intentado buscar una alternativa para la gestión de los residuos producto de la actividad forestal (Varnero *et al.*, 2010; Ozcariz Fermoselle, 2016). Es en este ámbito en el que se encuadra este trabajo, se experimenta con un sustrato procedente de podas y limpiezas de jardines y plantaciones forestales, suministrado por la Comunidad de

Montes de Coruxo (Vigo) y se compara con otro comercial procedente de paja de cereal.

En nuestras latitudes, entre las especies cultivadas como comestibles, destacan las ya mencionada seta de ostra y champiñón de París, pero en los últimos años se ha extendido también el de shii-take o seta china (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) y, más recientemente, otras como las setas de ostra rosada (*Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn) o amarilla (*Pleurotus citrinopileatus* Sing.).

También cultivables existen otras especies no comestibles, pero que ofrecen especial interés como micoterapéuticas, es el caso de la citada cola de pavo, el reishi o pipas de monte (*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.), la melena de león (*Hericium erinaceus* (Bull.) Pers.) o el maitake (*Grifola frondosa* (Dicks.) Gray), entre otras (Lindequist *et al.* 2014). A excepción del shii-take y de las setas de ostra rosada y amarilla todas estas especies forman parte de la micobiota gallega (Rodríguez-Vázquez & Castro, 2016). Por ello, para este trabajo se han seleccionado una especie comestible *Pleurotus ostreatus*, y otra de aplicación micoterapéutica, *Trametes versicolor*.

Objetivo y Plan de trabajo

El objetivo de este trabajo es valorar el rendimiento comparado de dos sustratos, pellet comercial de paja prensada y sustrato vegetal de origen arbóreo, especialmente de eucaliptos y palmeras, en el crecimiento miceliar de dos especies de hongos macromicetos lignolíticos como la seta de ostra (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y la cola de pavo (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd) mediante el uso de micelios comerciales.

Materiales y metodología de trabajo

Como en todo trabajo científico se ha realizado una exhaustiva búsqueda bibliográfica, con el fin de conocer tanto el tipo de sustrato, como su posible utilización, con el fin de diseñar el experimento. Se comienza con la siembra y resiembra en placas PDA (agar-patata-dextrosa) de los micelios comerciales y la preparación de los sustratos en los que se va a sembrar los micelios de ambas especies.

Partiendo de micelio comercial de ambas especies se procede a la replicación en placas PDA (agar-patata-dextrosa) comerciales con pH 5,6. Se siembran 6 placas para cada especie en ambiente estéril, en el interior de una cabina de flujo laminar (Cruamir, 9005-FL). Para ello se coloca un pellet en el centro de cada una de las placas, que se incuban en estufa (Raypa, incubator) a 25°C y oscuridad total hasta crecimiento máximo (García Rollán, 2007).

Cuando el micelio alcanza dicho máximo, en las mismas condiciones de asepsia, se corta un cuadrado de 1x1 cm de micelio, sin separarlo del agar, y se dispone en el centro de una nueva placa de PDA comercial. Se incuban en estufa a 25°C, en oscuridad, hasta que el micelio alcance 1 cm del borde (aconsejado para evitar contaminaciones posteriores). Las

placas deben ser revisadas diariamente. El proceso se repite en 20 placas por especie.

Simultáneamente, se preparan los sustratos. Los pellets de paja, que al ser un producto comercial seco es necesario hidratarlo previamente hasta conseguir un 70% de humedad (García Rollán, 2007). A continuación, se esterilizan en dos fases: la primera durante 15 min a 111°C y la segunda, 24 h más tarde, en la que se repite el proceso (Cañedo & Ames, 2004). Se han esterilizado 7 bolsas.

El sustrato vegetal mixto, básicamente formado por restos de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.) y de palmeras (*Phoenix canariensis* hort. ex Chabaud) a los que se le mezclan todo tipo de restos leñosos procedentes de podas y desbrozado del monte, previamente troceados por una trituradora industrial. Por ello, antes de utilizarlo para el cultivo de micelio es necesario eliminar agentes extraños incluidos en el, como piedras, plásticos, etcque pueden servir de refugio a fases de resistencia de bacterias y hongos.

En este caso, la preparación se lleva a cabo en varias fases (Ríos *et al.*, 2010):

- congelado del sustrato durante 48 h a -18°C,
- secado en la estufa a 40°C durante 48 h,
- tamizado (2 mm Ø) para eliminar la fracción de suelo,
- triple lavado con agua destilada (proporción 1:1) pasándolo por un tamiz más fino (1 mm Ø) después de cada lavado, para eliminar el suelo restante,
- secado de nuevo del sustrato en la estufa a 40°C durante 48h
- conservación en el congelador a -18°C hasta su uso.

Antes de realizar la siembra, el sustrato ha de ser descongelado y esterilizado en autoclave. Este proceso se repite a las 24h. Se preparan 7 bolsas.

Las bolsas de sustrato, ya esterilizadas, se reparten en placas Petri, cuidando las condiciones de asepsia en el interior de la cabina de flujo laminar y se coloca un cuadrado de micelio de 1 x 1 cm en el centro de la placa de sustrato. Se realiza la siembra en 30 placas por especie y por sustrato, se cierran con parafilm y se incuban en la estufa a 25°C, en oscuridad.

Durante el proceso de crecimiento, el micelio se mide diariamente (radios mayor y menor) con regla graduada y homologada. Se hace lo mismo con la superficie de cobertura, mediante el uso de una gradilla milimetrada, de 5 x 5 mm.

Durante este período de medición se detectó que el material esterilizado a 111°C durante 15 minutos (Ríos *et al.*, 2010) estaba contaminado en un alto porcentaje, por lo que se ha repetido la experiencia y modificando los protocolos de actuación para evitar dichas contaminaciones.

Para ello, se ha procedido a humedecer el sustrato 24 h antes de la primera introducción en autoclave, se ha aumentado el tiempo de esterilización de 15 a 30 min, y la temperatura de 111 a 121°C, además de utilizar placas Petri nuevas, no reutilizadas y esterilizadas en el laboratorio con etanol y lejía como se hizo en el experimento anterior (Ríos *et al.*, 2010).

Por otra parte, en la columna de placas dispuestas dentro de la estufa, se ha decidido rotar la posición de las mismas cada 24 h, con el fin de que todas presenten un porcentaje de humedad semejante durante el proceso de crecimiento, ya que cuando aparece mucha condensación en la tapa, se provoca un exceso

de humedad, que no parece apta para el buen crecimiento micelial, además de dificultar las mediciones.

Una vez finalizada la parte experimental deben anotarse los datos en una hoja de cálculo, utilizando el programa Excel (Microsoft Office 2013), para posteriormente poder realizar el análisis estadístico mediante el uso del programa R (R Core Team, 2017), calculando en primer lugar la tasa de crecimiento medio y el crecimiento acumulado a lo largo de los días.

A la vista de los resultados, se podrán realizar otros análisis gráficos como QQ plot, diagrama de cajas y densidad, así como un Shapiro Test para verificar la normalidad de los datos (Royston, 1982), junto con el test estadístico Krustal-Wallis y un análisis post-hoc empleando el método de corrección de Bonferroni (Dunn, 1964).

Resultados

Durante los 14 días que duró el segundo experimento se midieron los radios de crecimiento mayor y menor, de forma individualizada. Los resultados de la hoja de cálculo (Microsoft Excel) se resumen en la tabla 1.

SUSTRATO	ESPECIE	PLACAS SEMBRADAS	PLACAS CONTAMINADAS	CRECIMIENTO 100%	CRECIMIENTO MEDIO	CRECIMIENTO 0%	CRECIMIENTO (1-100%)
VEGETAL MIXTO	<i>Pleurotus</i>	30	2	19	0	9	21
	<i>Trametes</i>	30	5	2	8	15	15
PELLETS	<i>Pleurotus</i>	30	14	15	1	0	30
	<i>Trametes</i>	30	18	11	1	0	21

Tabla 1: resumen de los datos obtenidos

A la vista de los resultados se ha decidido considerar para el análisis únicamente el valor de los radios mayores, ya que son los más representativos del crecimiento total para ambas especies y sustratos. El crecimiento acumulado durante los 14 días se representa en la figura 1, en la que se observa un crecimiento diario acumulado para las dos especies motivo de estudio: seta ostra (*Pleurotus ostreatus*) y cola de pavo (*Trametes versicolor*) y para ambos sustratos: pellet de paja y sustrato vegetal.

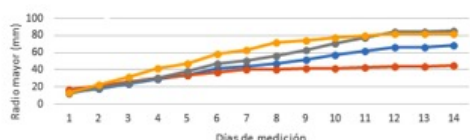


Figura 1: crecimiento micelial en placas para cada uno de los sustratos y especies. Azul: sustrato *Pleurotus*, rojo sustrato *Trametes*, naranja Pellets *Trametes* y gris pellet *Pleurotus*.

Para analizar la velocidad de crecimiento diaria se ha calculado la tasa de crecimiento media entre cada uno de los días. Se representa en la figura 2, tanto para las dos especies como para los dos sustratos, es decir para los 4 tratamientos realizados: vegetal mixto con *Pleurotus*, vegetal mixto con *Trametes*, pellet con *Pleurotus* y pellet con *Trametes*.

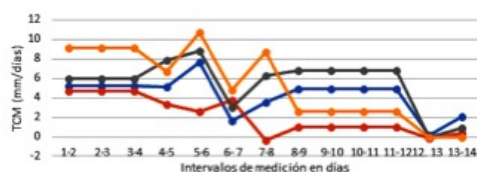


Figura 2: tasa de crecimiento media para cada uno de los días en las dos especies y los dos tipos de sustrato: vegetal mixto-*Pleurotus* (azul), vegetal mixto-*Trametes* (rojo), pellet *Pleurotus* (gris) y pellet *Trametes* (naranja).

Los valores medios de crecimiento del radio mayor para cada una de las especies según los tipos de sustrato se muestran en la tabla 2.

FECHA REALIZACIÓN DE LA MEDICIÓN	FEBRERO						MARZO							
	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5	6	7	8
SUSTRATO ESPECIE A ESTUDIAR	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
Sustrato de monte de Cauce <i>Pleurotus ostreatus</i>	13,27 ±1,82	18,54 ±2,76	23,80 ±5,18	29,07 ±7,80	34,37 ±14,76	41,81 ±20,83	43,52 ±21,3	47,07 ±24,8	51,97 ±22,9	56,87 ±22,6	61,76 ±23,9	66,66 ±26,4	66,79 ±26,4	68,86 ±23,17
Sustrato de monte de Cauce <i>Trametes versicolor</i>	16,86 ±2,29	21,52 ±3,08	26,17 ±4,77	30,83 ±6,71	34,38 ±9,47	36,82 ±12,18	40,52 ±15,0	44,12 ±14,7	47,37 ±15,7	50,42 ±14,8	53,17 ±15,7	56,17 ±15,7	59,22 ±19,2	64,51 ±19,2
Pellet de paja <i>Pleurotus ostreatus</i>	12,81 ±1,52	18,79 ±2,77	24,73 ±5,07	30,71 ±7,51	36,66 ±18,61	42,61 ±12,89	48,56 ±15,2	54,51 ±15,2	60,46 ±14,9	66,41 ±14,9	72,36 ±14,9	78,31 ±14,9	84,26 ±14,9	90,21 ±14,9
Pellet de paja <i>Trametes versicolor</i>	13,77 ±1,93	22,87 ±2,92	31,97 ±5,07	41,07 ±6,87	50,17 ±14,2	59,27 ±14,2	68,37 ±14,2	77,47 ±14,2	86,57 ±14,2	95,67 ±14,2	104,77 ±14,2	113,87 ±14,2	122,97 ±14,2	132,07 ±14,2

Tabla 2: medias y desviación típica de los radios mayores para cada sustrato y especie.

Con el fin de verificar la normalidad de los resultados obtenidos realizamos un gráfico Q-Q normal para las dos especies (*Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*) y los dos tipos de sustrato.

Se han considerado sólo los datos más significativos, es decir, los correspondientes al 2º, 5º y 10º días, ya que como se indica anteriormente, en el 1º día el crecimiento fue inapreciable y después del 10º, varias placas habían alcanzado el desarrollo máximo. Por ello, se decidió eliminar los valores del 1º día, puesto que el crecimiento era mínimo, y también los del 10º día en adelante, ya que muchas de las placas habían alcanzado su crecimiento máximo y no aportaban información útil.

Con estos resultados se ha observado que la distribución se aproxima a una normal de igual media y desviación estándar (figura 3 izquierda). Posteriormente, para observar posibles valores atípicos se ha realizado un diagrama de cajas en el que se representan la mediana y los cuartiles. La caja representa la distribución del 50% de los resultados, en tanto, las barras indican la desviación del cuartil 1 a 3 del rango intercuartílico medio $\times 1.5$ ($Q_{(1,3)} \pm 1.5 \times IRC$) entre el 95 y el 99% de la distribución (figuras 3 centro). Y, por último, se elabora un gráfico de densidad que nos permite apreciar fácilmente la simetría y la curtosis del conjunto de datos (figura 3 derecha).

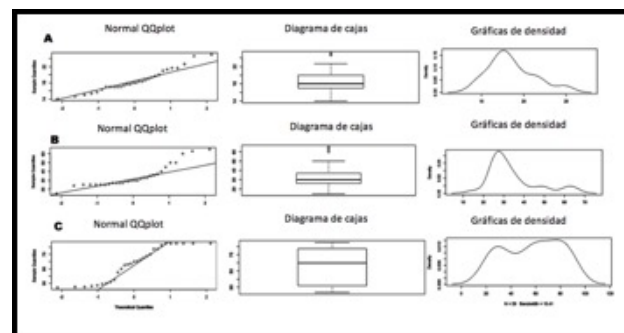


Figura 3: ejemplo de verificación de normalidad en sustrato mixto para *Pleurotus ostreatus*: días 2(A), 5(B) y 10 (C).

Posteriormente, para verificar la normalidad de los datos para cada día se realizó un Shapiro Test. Y como existe al menos un

tratamiento que presenta un valor significativo (p-valor) inferior a 0,05, no es posible aceptar que se distribuyen de forma normal. Por ello, se ha realizado la prueba estadística Krustal-Wallis (Hollander & Wolfe, 1973), equivalente al análisis de varianza (ANOVA) aplicable para valores no paramétricos.

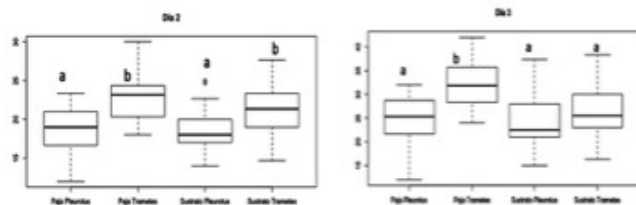


Figura 4: se muestran las igualdades entre tratamientos en cada uno de los días mediante gráficos boxplot.

Para desarrollar este test estadístico se consideran dos posibilidades: hipótesis nula (H_0), para la igualdad de distribución entre todos los tratamientos, e hipótesis alternativa (H_1), cuando existe diferencia en las distribuciones en al menos dos tratamientos. Los valores significativos (p-valor) para todos los días son inferiores a 0,05, lo que implica que es posible rechazar la hipótesis nula (H_0) con un nivel de confianza del 95 %. Esto supone la aceptación de la H_1 ; es decir, existen al menos dos tratamientos que son diferentes. A continuación, para conocer las diferencias existentes entre los tratamientos para cada uno de los días se realiza un análisis post-hoc por el método de Bonferroni (Dunn, 1964). Este análisis emplea la prueba U de Mann-Whitney (Hollander & Wolfe, 1973) para realizar comparaciones dos a dos entre los diferentes tratamientos. El resultado de este tratamiento estadístico se representó en diagramas de cajas (figura 4).

Discusión de los resultados

En la figura 1 se puede observar como la seta ostra (*Pleurotus ostreatus*) presenta un crecimiento ligeramente mayor en pellet de paja frente al sustrato vegetal mixto o forestal. Algo semejante, aunque con una diferencia más marcada, ocurre con la cola de pavo (*Trametes versicolor*).

En la seta ostra los radios mayores continúan creciendo hasta el último día de medición en ambos tratamientos; de hecho, la mayor cantidad de placas con desarrollo completo pertenecen a ésta sobre sustrato mixto, seguido de cerca por la misma especie en pellet de paja. En la cola de pavo el crecimiento es lineal hasta el 8º día, en el que se estanca en el sustrato vegetal mixto y aumenta ligeramente para el pellet (figura 1). Este estancamiento se puede deber a que parte de las placas presentan crecimiento parcial o nulo; sin embargo, en la seta ostra todas han crecido, total o parcialmente.

La tasa media de crecimiento en el sustrato vegetal, compuesto esencialmente por eucalipto y palmera (vegetal mixto) ha sido menor que en los pellets de paja, probablemente debido a factores inhibidores para el crecimiento de macromicetos por parte de ciertas monocotiledóneas de porte arbustivo y/o

arbóreo (Armoa & Campi (2016), y del eucalipto (Oudia *et al.*, 2008; González *et al.*, 2017).

Como se indica en el apartado de resultados, el problema de las contaminaciones en los pellets de paja se ha intentado evitar repitiendo el experimento con mayor tiempo de esterilizado y mayor temperatura; sin embargo, han persistido algunas contaminaciones.

Para averiguar si el responsable de la contaminación era el pellet comercial que podía portar algunas formas resistentes de *Penicillium*, se incubaron placas control (sin micelio), tanto con sustrato comercial sin tratamiento como previa congelación durante 72 horas a -18 °C, antes de introducirlo en el autoclave. El número de contaminaciones no ha disminuido mediante el congelado, lo que hace suponer que las contaminaciones observadas se producen en el momento de la manipulación.

Debido a la complejidad del proceso experimental y las diferencias entre los tratamientos los datos de crecimiento no resultan fáciles de interpretar. Puede observarse que el 2º día el crecimiento presenta una diferenciación entre especies. Para ambos sustratos, *Trametes versicolor* presenta un mayor crecimiento que *Pleurotus ostreatus*.

Y, desde el 3º hasta el 5º días, el primero presenta en pellet de paja un crecimiento significativamente superior que el de los otros 3 grupos. La cola de pavo en la naturaleza tiene una fase de su vida parásita bastante agresiva (García Rollán 2007), lo que probablemente sea responsable de que en esta primera fase se manifieste un mayor crecimiento, mayor que en los restos de palmera y eucalipto, que pueden comportarse como inhibidores del crecimiento en ciertas especies (Armoa & Campi, 2016 y González *et al.*, 2017).

Esta trayectoria cambió a partir del 6º día hasta el 8º días. En este período tanto *Pleurotus ostreatus* como *Trametes versicolor* presentan un crecimiento similar en pellet de paja, y mantienen ciertas semejanzas con el otro sustrato en ambas.

A partir del 9º día, tanto una especie como la otra, presentan menor crecimiento en sustrato vegetal mixto que en pellet, manifiestamente menor en la seta ostra, probablemente debido a las inhibiciones ya comentadas de las palmeras (Armoa & Campi 2016; González *et al.*, 2017).

Conclusiones

Estos datos permiten concluir que los sustratos vegetales, tanto pellet como mixtos forestales, necesitan ser hidratados, previamente a la esterilización, para favorecer el desarrollo de posibles estructuras de resistencia, que serán eliminadas con tratamiento de esterilización durante 30 min a 121 °C, con repetición a las 24 h.

Además, la seta de ostra (*Pleurotus ostreatus*) y la cola de pavo (*Trametes versicolor*) presentan un crecimiento ligeramente mayor en pellet de paja comercial frente a sustrato vegetal mixto de origen forestal (eucalipto y palmeras). Sin embargo, no se detectan diferencias significativas entre el crecimiento final para ambas especies en los pellets de paja y tampoco entre los crecimientos de ambas especies para el sustrato vegetal mixto.

Bibliografía

- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W., Blackwell, M. (1996). *Introductory mycology*. New York: Wiley (4ª edición).
- Armoa, J., Campi, M. (2016) Evaluación del crecimiento de macrohongos de interés biotecnológico en residuos agroindustriales y madereros. *Steviana* 8(2): 7-15.
- Cañedo, V., Ames, T. 2004. *Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Castillo, R.F. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Tébra.
- Castro, M., Justo, A., Lorenzo, P., Soliño, A. (2005). *Guía micológica dos ecosistemas galegos*. A Coruña: Baía Edicións.
- Coello Paredes, J.M. (2011). *Aplicación del hongo Pleurotus ostreatus como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Guayaquil, disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21150/1/D-92862.pdf> [consultado el 15/02/2018]
- Dunn, O.J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics* 6: 241-252.
- García Rollán, M. (2007). *Cultivo de setas y trufas*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- González, N., Elissetche, J., Pereira, M., Fernández, K. (2017) Extraction of polyphenols from Eucalyptus nitens and Eucalyptus globulus: Experimental kinetics, modeling and evaluation of their antioxidant and antifungal activities. *Industrial Crops & Products* 109: 737-745.
- Hollander, M. and Wolfe, D. A. (1973) *Nonparametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons.
- Lindequist, U., Won Kim, H., Tiralongo, E., van Griensven, L.J.L.D. (2014). Evidence-based complementary and alternative medicine. *Medical mushrooms* 2014: 1-2 disponible en <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2014/806180/> [consultado 19/01/2018].
- Oudia, A., Queiroz, J., Simões, R. (2008) Potential and limitation of Trametes versicolor laccase on biodegradation of Eucalyptus globulus and Pinus pinaster kraft pulp. *Enzima and Microbial Technology* 43: 144-148.
- Ozcariz Fermoselle, V. (2016). *Aprovechamiento de residuos agroforestales, con particular interés en los originados en explotaciones de nuez pecán (Carya illinoensis), por medio del cultivo de hongos saprófitos saludables ibéricos*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/16680/1/Tesis942-160406.pdf> [consultada 12/01/2017].
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> [consultada 23/04/2018].
- Ríos, M.P., Hoyos, J.L., Mosquera, S.A. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de Pleurotus ostreatus propagada en diferentes medios de cultivo. *Nutrifaca* 8(2): 86-94
- Rodríguez-Vázquez, J.; Castro, M.L. (2016). *Micobiota galega, 1867-2015 (Ascomycota, Basidiomycota)*. Documento preliminar para a base de datos micológica galega MicobiotaGalicia.mdb. Edita Grupo Micológico Galego. Disponible en: <http://www.mykes.es/contidos/20/> [consultada 30/01/2018].
- Royston, P. (1982) An extension of Shapiro and Wilk's W-test for normality to large samples. *Applied Statistics*, 31, 115-124.
- Sierra Fernández, J.L., López Díaz, T.M., Eiroa García-Garabal, J.A. 2002. *Lo que usted debe saber de setas cultivadas*. León: Soc. Micol. Leonesa «San Jorge» & Caja España.
- Straus, L.G., González Morales, M.R., Carretero, J.M., Marín-Arroyo, A.B. (2015). The Red Lady of el Mirón. Lower Magdalenian life and death in Oldest Dryas Cantabrian Spain: an overview. *J. Arch. Sci.* 60: 134-137.
- Suárez, C., Holguín, M. (2011). Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semillas de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Histológicas*. 5: 130-140.
- Varnero, M.T., Quiroz, M.S., Álvarez, C.H. (2010) Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica* 21(2): 13-20

Catálogo micolóxico da Reserva da Biosfera na área de Allariz – Concello de Allariz

Traballo Fin de Grao
Grao en Bioloxía

Rivas-Ferreiro, M.

Titular:
Marisa Castro Cerceda

maurorivasferreiro@gmail.com

Departamento de Bioloxía Vexetal
e Ciencias do Solo

Resumo

Neste traballo preséntase o primeiro catálogo micolóxico realizado tras a mostraxe e identificación do material tomado de tres zonas núcleo e catro zonas tampón da Reserva da Biosfera «Área de Allariz», todas elas dentro do territorio do Concello de Allariz. Cos datos obtidos analízase a situación actual a nivel taxonómico e de comunidade ecolóxica, e propóñense obxectivos futuros para completar o catálogo nos anos vindeiros.

Introdución e antecedentes

Hoxe en día, a conservación da biodiversidade debería ser unha das claves principais dos programas de calquera corporación goberamental, tanto pola cantidade de especies que quedan aínda por descubrir como polo seu valor ambiental (Castro *et al.* 2010). Compreendendo isto, a Unión Europea tomou como obxectivo para o 2020 deter a perda de biodiversidade e a degradación dos servizos ecosistémicos nos seus territorios (Comisión Europea 2011).

Para alcanzar este obxectivo, é importante promover a creación de catálogos e listas vermellas de especies que sirvan como ferramenta para a xestión medioambiental das diferentes rexións e permitan salvagardar a aqueles organismos que se atopen en perigo (Castro *et al.* 2010).

Neste sentido, a catalogación e conservación da micobiota é de vital importancia, pois os fungos participan en numerosas interaccións biolóxicas e son cruciais en grande parte dos procesos ecosistémicos (Dahlberg & Croneborg 2003). A nivel da súa biodiversidade, o número estimado de especies incluídas no reino Fungi segundo os estudos máis recentes roldaría os 2.4 millóns (Larsen *et al.* 2017), utilizándose habitualmente un rango prudencial de 1.5 a 3 millóns (Hawksworth 2012). Tendo en conta que na actualidade se coñecen aproximadamente 135 mil especies de fungos (Roskov *et al.* 2018, en liña), o que se correspondería entre un 4.5 e un 9% do total estimado, podemos inferir que aínda queda moito traballo taxonómico por desenvolver neste grupo de organismos.

Pese á súa importancia como factores chave no ecosistema, os fungos pasan habitualmente desapercibidos e non se teñen en conta de forma directa nos grandes acordos internacionais sobre biodiversidade e conservación, como por exemplo a denominada Directiva Hábitats ou o Convenio de Berna (Dahlberg *et al.* 2010).

A lexislación sobre conservación en Europa está actualmente controlada pola Directiva Hábitats citada anteriormente (Consello Europeo 1992), na que se designan unha serie de

zonas de especial conservación (ZEC) cuxa protección é prioritaria; estas zonas englobanse dentro da denominada Rede Natura 2000 (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2010).

A designación e delimitación das ZEC baséase principalmente na presenza dentro dos seus hábitats de certas especies de flora e fauna especialmente interesantes ou vulnerables; estas especies aparecen listadas na propia Directiva Hábitats (Consello Europeo 1992), pero nela non se inclúe ningunha especie do reino Fungi (Dahlberg *et al.* 2010). Ao non estar tendo en conta os fungos nin ás súas características especiais, poderíanse estar pasando por alto certos micotopos interesantes que necesitarían protección (Dahlberg *et al.* 2010).

Un dos principais argumentos para excluír aos fungos deste tipo de lexislacións, utilizado incluso por algúns micólogos, é a falta de información sobre a distribución sistematizada (espacial e temporalmente) e o comportamento da maioría das especies fúncicas (Dahlberg *et al.* 2010). Unha das claves para completar e corrixir o que se coñece sobre a coroloxía e autoecoloxía das diferentes especies é a información almacenada nos catálogos micolóxicos, pois é aí onde se recollen os datos de hábitat e substrato de centos de miles de espécimes recollidos e identificados por todo o mundo (Dahlberg *et al.* 2010).

Os catálogos micolóxicos, cuxos exemplares estudado se almacenan en forma de exsiccata en herbarios e micotecas, desvélanse cada vez máis interesantes: nun contexto de cambio climático global, os expertos acoden a eles na busca de información sobre a distribución e os substratos sobre os que medran as diferentes especies para estudar os cambios na súa distribución e frutificación (Sato *et al.* 2012; Boddy *et al.* 2013). Cabe destacar tamén o potencial dos herbarios como fonte de material xenético para completar as bases de datos de secuencias de fungos (Begerow *et al.* 2010). Este tipo de catálogos tamén son unha ferramenta importante para a xestión do medio, especialmente das masas forestais (Castro 2015).

Certas especies como *Hygrocybe punicea* (Fr.) P. Kumm. son utilizadas habitualmente noutros países como indicadores de zonas de pradaria de especial interese en conservación, por exemplo (Heilmann-Clausen *et al.* 2014).

Pese a que biodiversidade fúnxica pode funcionar como ferramenta para axudar na conservación do patrimonio natural dunha zona, as malas prácticas na xestión do medio, e especialmente das masas forestais, son unha grande ameaza para a supervivencia deste grupo de organismos (Hofmeister *et al.* 2014). Para alcanzar unha boa xestión do medio natural, polo tanto, é necesario un bo e detallado coñecemento da comunidade fúnxica que habita nel.

Dentro de Galicia, Ourense é a provincia coa menor proporción de taxons citados con respecto ao total galego: tan só un 31.5%, con respecto ao 53.4% de Lugo, 60.7% de Pontevedra ou 66.8% de A Coruña (Castro 2015); isto é consecuencia non da ausencia dos taxons na provincia, se non da falla de publicacións que citen Ourense (tan só o 12.7%, a provincia galega con menos citas) (Soliño Pérez 2004).

Antecedentes da zona de estudo

A Reserva da Biosfera Área de Allariz está composta por catro concellos: Allariz, A Bola, Rairiz de Veiga e Vilar de Santos. Foi aceptada como Reserva da Biosfera en 2005, pasando a última revisión de forma satisfactoria en 2016 (UNESCO 2017a). A nivel ecolóxico, trátase dunha zona modificada polo home ao longo da historia: as súas paisaxes están modeladas pola a gandería, a agricultura e a silvicultura (Reserva da Biosfera Área de Allariz 2008a).

Debido á súa natureza como zonas nas que as actividades humanas e o medio funcionan de forma especialmente sinérxica (UNESCO 2017b), un dos obxectivos das Reservas da Biosfera é a de funcionaren coma «laboratorios naturais» para estudar os procesos de mutua adaptación co obxectivo de axudar na conservación dos ecosistemas e na planificación do territorio (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas 2012).

É imprescindible ter dispoñible información sobre a biodiversidade dunha reserva destas características para poder tomar decisións eficientes sobre a súa conservación e manexo (Halme *et al.* 2017). No tocante á micobiota, na Área de Allariz tan só existen unhas poucas citas illadas, e en ningún caso unha publicación que recompila os diferentes taxons fúnxicos que se poden atopar nos seus montes.

É por isto que, coa colaboración do Concello de Allariz, se decidiu realizar unha serie de mostraxes dentro da Reserva da Biosfera Área de Allariz (Fig. 1), así como unha revisión dos taxons citados para a zona na bibliografía, coa finalidade de crear o primeiro catálogo micolóxico do municipio.

Obxectivos e plan de traballo

O obxectivo deste traballo é realizar unha primeira aproximación á diversidade micolóxica do concello de Allariz, mediante a creación dun catálogo preliminar de macromicetos

(fungos produtores de corpos frutíferos observables a simple vista). Para conseguilo, tomáronse como referencia outros proxectos de catalogación da micobiota (Fernández-Ricón *et al.* 2015; Pérez-Torrón *et al.* 2015; Requejo & Castro 2017).

Metodoloxía

1. Elección das localidades

Previamente ao comezo da mostraxe, realizouse unha recompilación da información bioxeográfica dispoñible do concello de Allariz (Reserva da Biosfera Área de Allariz 2008a, b) e fíxose unha prospección in situ dos terreos (micotopos) que semellaran máis interesantes para a realización do estudo micolóxico.

As Reservas da Biosfera teñen unha zonación específica en tres tipos: zonas núcleo, que presentan unhas características cun interese ecolóxico e de conservación maior a longo prazo; zonas tampón, que rodean ás anteriores e sustentan a maior parte das actividades humanas; e zonas de transición, que como o seu propio nome indica serven de paso entre a Reserva e outros territorios (UNESCO 2017c). Pola súa importancia ecolóxica e a súa diversidade como micotopos, decidiuse realizar a mostraxe nas tres zonas núcleo do Concello de Allariz e en 4 localidades dentro da zona tampón. Podemos ver a súa distribución na Fig. 1.



Figura 1. Mapa da mostraxe no concello de Allariz. As puntas de frecha sinalan as localidades onde se realizou a mostraxe. Os números correspóndense coas localidades: 1-O Briñal, 2-O Canelar, 3-O Foxo Vello (as tres zonas núcleo), 4-San Breixo, 5-Santo Estevo, 6-Meire, 7-Nanín.

2. Recolección do material

As saídas ao campo tiveron lugar entre setembro de 2017 e xaneiro de 2018, pois tanto a experiencia como a bibliografía consultada (Lorenzo & Castro 2009; Baptista *et al.* 2010; Castro 2014) demostran que son os meses que concentran a maior frutificación de macromicetos no norte e noroeste da Península Ibérica. En todo momento se respectou a normativa vixente sobre recolección de macromicetos (D.O.G. 2014), procurando ao mesmo tempo provocar o mínimo impacto nos ecosistemas prospectados.

Os exemplares foron extraídos coa axuda dunha navalla, enteiros e tomando nota de calquera característica de interese para a identificación posterior (tamaño, cor, morfoloxía, cheiro, sabor, substrato, vexetación circundante, e calquera outro dato necesario). Procurouse fotografar o maior número de taxons posible (Fig. 2).

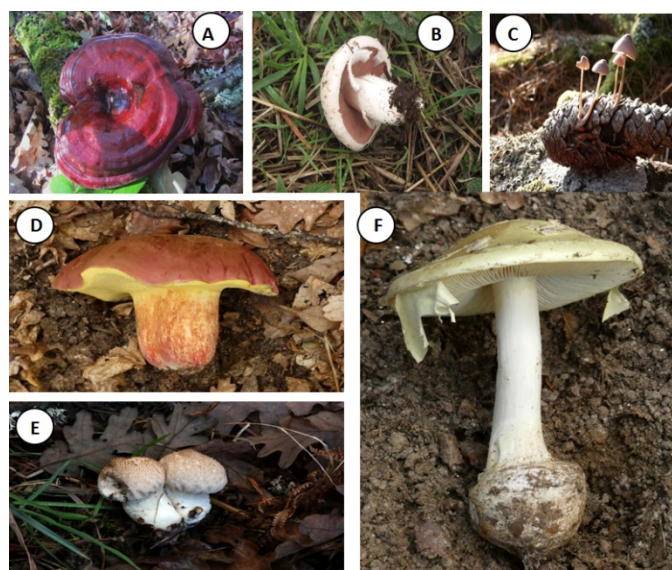


Figura 2. Exemplos de carpóforos recollidos durante a mostraxe para a súa identificación (A-*Ganoderma lucidum* (Curtis) P.Karst., B-*Agaricus campestris* L., C-*Mycena seynii* Qué!, D-*Boletus spretus* Bertéa, E-*Lycoperdon perlatum* Pers., F-*Amanita citrina* Pers.).

Seguidamente os exemplares foron separados por especies, gardados en conos de papel ou en envases de poliestireno ríxidos (para evitar contaminacións ata chegar ao laboratorio) e transportados nunha cesta.

3. Conservación das coleccións

As mostras foron conservadas en neveiras entre 2 e 5 °C ata a súa primeira «identificación macroscópica» (aproximación), procurando que esta non tivera lugar máis de 3-4 días despois da recolección dos exemplares para evitar a xelatinización e/ou putrefacción dos carpóforos (Requejo & Castro 2017). Despois as coleccións secáronse mediante un convector de aire quente, controlando en todo momento que a temperatura non superase os 40 °C para poder realizar posteriormente estudos moleculares coas mesmas (Hyde *et al.* 2013).

Estas exsiccata foron gardadas en sobres asignándoselles un número da micoteca UVIGO-Fungi, xunto cos datos de especie, lugar de recolección, hábitat, data de recolección e legit. Serán

almacenadas no laboratorio de micoloxía ata que sexan levadas ao Herbario da Universidade de Vigo, sendo estes os primeiros espécimes en formar parte da micoteca UVIGO-Fungi.

4. Identificación

A identificación definitiva das exsiccata foi realizada no laboratorio de micoloxía da Universidade de Vigo. Primeiramente foi levada a cabo a análise pormenorizada de tódalas características macromorfolóxicas do carpóforo cun microscopio estereoscópico (Nikon SMZ-1), partindo da descrición previa en fresco, e coa axuda dos reactivos habituais (Charbonnel 1995).

Para o estudo das estruturas microscópicas utilizouse un microscopio óptico (Leitz Laborlux S) con obxectivos de x10, x40 e x100 (de inmersión en aceite). Os cortes histolóxicos foron realizados a man alzada coa axuda do microscopio estereoscópico, levando as mostras a auga destilada ou aos reactivos habituais (Charbonnel 2004). As estruturas que se estudaron foron: cutícula, hifas himeniais, cistidios, basidios, ascas, paráfise, esporas, hifas caulinares e estruturas do velo universal (de habelas). No caso das esporas, medíronse non menos de 10 para calcular o seu tamaño medio en cada unha das coleccións (Basso 2005, 2012).

Unha vez obtidos os datos, procedeuse á identificación. Para iso, utilizáronse obras xerais nun primeiro momento como Moser (1980), Jülich (1989), Breitenbach & Kränzlin (1984, 1986, 1991, 1995, 2000), Sarnari (1998, 2005), Courtecuisse (2005) e Kränzlin (2005), entre outros. En moitos casos fíxose necesario o uso adicional de fontes bibliográficas específicas para certos taxons, como Dennis (1978), Mueller (1992), Calonge (1998), Vellinga (1990, 2001), Holec (2005), Muñoz (2005), Medardi (2006), Noordeloos (1988, 2005, 2011) e Robich (2003, 2016), entre outros.

A nomenclatura das especies foi comprobada e corrixida segundo a base de datos Index Fungorum (en liña); para o resto de categorías taxonómicas, utilizouse o Catalogue of Life (Roskov *et al.* 2018, en liña). Para a determinación de novas citas para Ourense e para Galicia, utilizáronse os traballos de Soliño Pérez (2004) e Rodríguez-Vázquez & Castro (2016), así como o portal Global Biodiversity Information Facility (GBIF, en liña).

5. Recompilación bibliográfica

Ao mesmo tempo que se procedía a identificación e a análise corolóxica dos taxons, realizouse unha busca bibliográfica para atopar citas que referenciaran Allariz como lugar de ocorrencia dalgunha especie de macromiceto. Para isto, realizáronse buscas no portal Global Biodiversity Information Facility (en liña), así como en bases de datos como as de Rodríguez-Vázquez & Castro (2016) e a do CSIC - Real Jardín Botánico de Madrid (2017). Tamén se atopou un artigo que define unha nova especie para a ciencia, *Clitocybe alaricensis*, descrita por Blanco-Dios (2007) para a área de Allariz.

Resultados e Discusión

1. Novas aportacións corolóxicas

Nun ano tan seco como o 2017 a frutificación dos fungos macromicetos foi extremadamente escasa durante o período outono-inverno; sen embargo, despois da mostraxe e o estudo macro e microscópico do material atopado, foron identificadas 149 especies de macromicetos. Destas, 49 cítanse por primeira vez para a provincia de Ourense, e 11 son ao mesmo tempo novidades para o catálogo micolóxico galego (Rodríguez-Vázquez & Castro 2016). As novas citas indícanse na Táboa 1.

<i>Adelphella babingtonii</i>	<i>Entoloma hirtipes</i>	<i>Mycena flavescens</i> *
<i>Agaricus impudicus</i>	<i>Gymnopilus sapineus</i>	<i>Mycena viridimarginata</i>
<i>Amanita submembranacea</i>	<i>Gymnopilus stabilis</i>	<i>Mycena vitilis</i>
<i>Atheniella flavoalba</i>	<i>Gymnopilus peronatus</i>	<i>Mycena zephirus</i> *
<i>Buchwaldoboletus hemichrysus</i>	<i>Gymnopilus quercophilus</i> *	<i>Omnia tomentosa</i> *
<i>Clitocybe brumalis</i> *	<i>Hapalopilus rutilans</i>	<i>Panelus ringens</i> *
<i>Clitopilus geminus</i>	<i>Hebeloma birrus</i>	<i>Polyporus tuberaster</i>
<i>Coccomyces coronatus</i> *	<i>Hebeloma leucosarx</i>	<i>Psathyrella</i>
<i>Coccomyces juniana</i> *	<i>Inocybe auricoma</i>	<i>spadiceogrisea</i>
<i>Coprinopsis bellula</i> *	<i>Laccaria fraterna</i> *	<i>Russula acrifolia</i>
<i>Coprinopsis cinerea</i>	<i>Lentiniellus ursinus</i>	<i>Russula graveolens</i>
<i>Cortinarius decipiens</i>	<i>Lentinus brumalis</i>	<i>Russula nobilis</i>
<i>Cortinarius urticus</i> *	<i>Lycoperdon pyriforme</i>	<i>Russula turci</i>
<i>Dacrymyces capitatus</i>	<i>Macrolepiota permixta</i>	<i>Russula velenovskyi</i>
<i>Deconica merdaria</i>	<i>Marasmius bulliardii</i>	<i>Russula versicolor</i>
<i>Dichomitus campestris</i>	<i>Marasmius cohaerens</i>	<i>Stemonitis axifera</i>
	<i>Mycena arcanelliana</i>	<i>Tubaria romagnesiana</i>

Táboa 1. Primeiras citas do catálogo micolóxico da área de Allariz para Ourense e Galicia. As especies citadas por primeira vez para Galicia aparecen marcadas cun «*».

2. Recompilación bibliográfica

Depois da revisión bibliográfica onde se citan esporadicamente macromicetos observados en Allariz, atopáronse 20 especies que foran anteriormente publicadas para o concello (Táboa 2). É importante salientar que dos 20 taxons, 16 non foron observados durante a mostraxe realizada para este traballo.

<i>Agaricus sylvicola</i> (Vittad.) Peck.	<i>*Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.
<i>Agaricus xanthodermus</i> Genev.	<i>Herictum erinaceus</i> (Bull.) Pers.
<i>Amanita fulva</i> Fr.	<i>Lactarius turpis</i> (Weinm.) Fr.
<i>Chalciporus piperatus</i> (Bull.) Bataille	<i>*Leptota ignivolvata</i> Bousset & Joss. ex Joss.
<i>Chlorophyllum venenatum</i> (Bon) C. Lange & Vellinga	<i>Phaeolus schweinitzii</i> (Fr.) Pat.
<i>Clitocybe alaricensis</i> Blanco-Dios	<i>*Phallus impudicus</i> L.
<i>Coprinus quadrifidus</i> Peck.	<i>*Polyporus tuberaster</i> (Jacq. ex Pers.) Fr.
<i>Cortinarius bolaris</i> (Pers.) Fr.	<i>Psilocybe coronilla</i> (Bull.) Noordel.
<i>Cortinarius caperatus</i> (Pers.) Fr.	<i>Stropholoma aurantiacum</i> (Cooke) Ryman
<i>Cortinarius torvus</i> (Fr.) Fr.	<i>Tricholoma fulvum</i> (DC.) Bigeard & H. Guill.

Táboa 2. Especies citadas para Allariz, atopadas na bibliografía. Márcanse cun «*» as especies que foron atopadas tanto na bibliografía coma na mostraxe.

3. Taxonomía das especies estudadas

Combinando as especies identificadas recollidas no campo coas atopadas na bibliografía, obsérvanse taxons pertencentes a dous reinos: Protozoa e Fungi (Ruggiero *et al.* 2015). O catálogo está composto por 1 xénero (1 especie) de Myxomycota ou Mycetozoa (Protozoa); 5 xéneros (5 especies) de Ascomycota (Fungi); e 76 xéneros (159 especies) de Basidiomycota (Fungi). Como se pode ver na Fig. 3, a maior parte dos taxons atopados pertencen ao filo Basidiomycota; este resultado concorda con outros traballos semellantes realizados en zonas ben

delimitadas e mostrexadas durante varios anos consecutivos (Requejo & Castro 2017). Esta descompensación entre os diferentes fillos parece ser debida a unha serie de factores entre os que destaca o menor tamaño medio dos carpóforos dos ascomicetos con respecto aos basidiomicetos, así como a súa menor duración no tempo, sendo en consecuencia máis difíciles de observar (Malloch sen data).

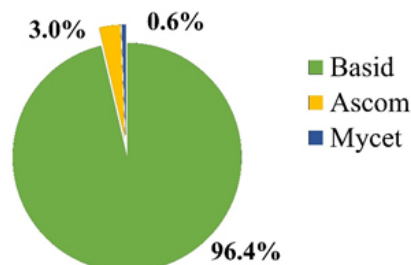


Figura 3. Porcentaxe de especies pertencente a cada filo (Basidiomycota [Basid], Ascomycota [Asco] ou Mycetozoa/Protozoa [Mycet]).

Pese a non pertencer ao reino Fungi (Roskov *et al.* 2018, en liña), decidiuse incluír no catálogo ó mixomiceto recollido (Reino Protozoa, Filo Mycetozoa, Clase Myxomycetes) por tratarse dun grupo tradicionalmente estudado polos micólogos.

Conclusións

Con este traballo á primeira aproximación ao catálogo micolóxico do Concello de Allariz permite establecelo en 165 especies de macromicetos: Myxomycota 1 taxon, Ascomycota, 5 taxons e Basidiomycota, 159 taxons.

Nas mostraxes obtivéronse 149 especies de macromicetos, un número considerable se se ten en conta que as condicións climáticas durante os meses outonais e invernales non foron as idóneas para a produción de carpóforos. Na revisión bibliográfica obtiveronse 16 novas especies non atopadas na mostraxe.

Son citados por primeira vez para a provincia de Ourense 49 taxons, dos cales 11 son novidades tamén para o catálogo micolóxico galego.

Este catálogo non pode considerarse completo porque, para caracterizar de forma precisa a micobiota dunha rexión, estímase que se deberían realizar mostraxes de forma habitual durante polo menos 5-6 anos, tanto para contrarrestar os problemas meteorolóxicos como para considerar o intervalo natural de frutificación para cada especie (Castro 2014). Por iso, deberá ser completado con novas observacións nos anos seguintes, o que permitirá revisar adecuadamente as identificacións de taxons crípticos mediante as técnicas moleculares dispoñibles. mixto.

Bibliografía

- Baptista, P., Martins, A., Tavares, R. M., Lino-Neto, T. (2010). Diversity and fruiting pattern of macrofungi associated with chestnut (*Castanea sativa*) in the Trás-os-Montes region (Northeast Portugal). *Fungal Ecol.* 3(1): 9–19.
- Basso, M. T. (2005). *Manuale di microscopia dei funghi* (1ª Ed.). Alassio: Libreria Mykoflora.
- Basso, M. T. (2012). *Manuale di microscopia dei funghi, vol. 2* (1ª Ed.). Vilanova d'Albenga: Libreria Mykoflora.
- Begerow, D., Nilsson, H., Unterseher, M., Maier, W. (2010). Current state and perspectives of fungal DNA barcoding and rapid identification procedures. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 87: 99–108.
- Blanco-Dios, J. B. (2007). *Unha nova especie de Clitocybe en Galicia: Clitocybe alaricensis*. *Tarrelas* 9: 10–14.
- Boddy, L., Buntgen, U., Egli, S., Gange, A. C., Heegaard, E., Kirk, P. M., Mohammad, A., Kauserud, H. (2013). Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecol.* 30: 1–14.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1984). *Champignons de Suisse Tome 1: les ascomycètes* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1986). *Champignons de Suisse Tome 2: champignons sans lames* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1991). *Champignons de Suisse Tome 3: bolets et champignons à lames 1ère partie* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1995). *Champignons de Suisse Tome 4: champignons à lames 2ème partie* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (2000). *Champignons de Suisse Tome 5: champignons à lames 3ème partie* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Calonge, F. D. (1998). *Flora Mycologica Iberica Vol.4: Gasteromycetes I. Lycoperdales, Nidulariales, Phallales, Sclerodermatales, Tulostomatales* (1ª Ed.). Stuttgart: J. Cramer.
- Castro, M. L., Blanco-Dios, J. B., Requejo, O. (2010). Micobiota de Galicia: conservación de especies e proposta de lista vermella. *Mykes* 13: 7–32.
- Castro, M. L. (2014). Relación entre factores ecolóxicos e biolóxicos e patróns de frutificación de macromicetos. *Mykes* 17: 23–37.
- Castro, M. L. (2015). Micobiota autóctona e alóctona: micocenoses, micosocioloxía. *Mykes* 18: 51–71.
- Charbonnel, J. (1995). *Les réactifs mycologiques. Tome 1. Les réactifs macrochimiques*. Ajain: Editado polo autor.
- Charbonnel, J. (2004). *Les réactifs mycologiques. Tome 2. Les réactifs microchimiques*. Ajain: Editado polo autor.
- Comisión Europea (2011). *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020*. Luxemburgo: Oficina de Publicacións da Unión Europea.
- Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestruturas (2012). *Plan Director da Rede Natura 2000 de Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Consello Europeo (1992). Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 206: 7–50.
- Courtecuisse, R. (2005). *Guía de los hongos de la Península Ibérica, Europa y norte de África: 1751 especies descritas e ilustradas* (1ª Ed.). Barcelona: Ediciones Omega.
- CSIC - Real Jardín Botánico de Madrid (Ed.) (2017). *Fragmenta Chorologica Occidentalia*. Recuperado o 2 de maio de <http://rjb.revistas.csic.es/index.php/rjb/issue/archive>
- Dahlberg, A., Croneborg, H. (2003). The 33 threatened fungi in Europe. *Nature and Environment* (Vol. 136). Strasbourg: Council of Europe Publishing.
- Dahlberg, A., Genney, D. R., Heilmann-Clausen, J. (2010). Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecol.* 3: 50–64.
- Dennis, R. W. G. (1978). *British Ascomycetes* (3ª Ed.). Vaduz: J. Cramer.
- D.O.G. (2014). Decreto 50/2014, de 10 de abril, por el que se regulan los aprovechamientos madereros y leñosos, de corcho, de pastos y micológicos en montes o terrenos forestales de gestión privada en la Comunidad Autónoma de Galicia y el contenido, organización y funcionamiento del Registro de Empresas del Sector Forestal. D.O.G. 86: 20564–20658.
- Fernández-Ricón, H., Pérez-Torrón, G., Castro, M. L. (2015). Macromicetos no monte de Cotres, parroquia de Arcos (Ponteareas, Pontevedra). *Mykes* 18: 29–49.
- GBIF (2017). *Global Biodiversity Information Facility Backbone Taxonomy. Checklist Dataset*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <https://www.gbif.org/search>
- Halme, P., Holec, J., Heilmann-Clausen, J. (2017). The history and future of fungi as biodiversity surrogates in forests. *Fungal Ecol.* 27: 197–201.
- Hawksworth, D. L. (2012). Global species numbers of fungi: are tropical studies and molecular approaches contributing to a more robust estimate? *Biodivers. Conserv.* 21: 2425–2433.
- Heilmann-Clausen, J., Barron, E. S., Boddy, L., Dahlberg, A., Griffith, G. W., Nordén, J., Ovaskainen, O., Perini, C., Senn-Irlet, B., Halme, P. (2014). A fungal perspective on conservation biology. *Conserv. Biol.* 29(1): 61–68.
- Hofmeister, J., Hosek, J., Brabec, M., Dvorák, D., Beran, M., Deckerová, H., Burel, J., Kríz, M., Borovicka, J., Beták, J., Vasutová, M. (2014). Richness of ancient forest plant species indicates suitable habitats for macrofungi. *Biodivers. Conserv.* 23: 2015–2031.
- Holec, J. (2005). The genus *Gymnopilus* (Fungi, Agaricales) in the Czech Republic with respect to collections from other European countries. *Acta Musei Natl. Pragae* 61(1–2): 1–52.
- Hyde, K. D., Udayanga, D., Manamgoda, D. S., Tedersoo, L., Larsson, E., Abarenkov, K., Bertrand, Y.J.K., Oxelman, B., Hartmann, M., Kauserud, H., Ryberg, M., Kristiansson, E., Nilsson, R. H. (2013). Incorporating molecular data in fungal systematics: a guide for aspiring researchers. *Curr. Res. Environ. Appl. Mycol.* 3(1): 1–32.
- Index Fungorum (2018). Index Fungorum. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://www.indexfungorum.org/>
- Jülich, W. (1989). *Guida alla determinazione dei funghi Vol.2: Aphyllophorales, Heterobasidiomycetes, Gastromycetes* (1ª Ed.). Trento: Saturnia.

- Kränzlin, F. (2005). *Champignons de Suisse Tome 6: Russulaceae* (1ª Ed.). Luzern: Mykologia.
- Larsen, B. B., Miller, E. C., Rhodes, M. K., Wiens, J. J. (2017). Inordinate fondness multiplied and redistributed: the number of species on earth and the new pie of life. *Q. Rev. Biol.* 92(3): 229–265.
- Lorenzo, P., Castro, M. L. (2009). Estudio de la micocenosis de macromicetos del Parque Natural del Monte Aloia (Pontevedra, España). *Anales Jard. Bot. Madrid* 66(1): 151–156.
- Malloch, D. (sen data). *Natural History of Fungi*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://website.nbm-mnb.ca/mycologywebpages/NaturalHistoryOfFungi/Home.html>
- Medardi, G. (2006). *Atlante fotografico degli Acomiceti d'Italia* (1ª Ed.). Trento: Fondazione Centro Studi Micologici dell'AMB.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *Red Natura 2000: Análisis y Prospectiva*. Serie Medio Ambiente 3: 1–4.
- Moser, M. (1980). *Guida alla determinazione dei funghi: Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales* (1ª Ed.). Trento: Saturnia.
- Mueller, G. M. (1992). *Systematics of Laccaria (Agaricales) in the continental United States and Canada, with discussions on extralimital taxa and descriptions of extant types* (Vol. 30). Chicago, Illinois: Field Museum of Natural History.
- Muñoz, J. A. (2005). *Fungi Europaei, Volume 2. Boletus s.l.: Strobilomycetaceae, Guroporaceae, Gyrodontaceae, Suillaceae, Boletaceae*. Origgi: Candusso.
- Noordeloos, M. E. (1988). Entolomataceae Kotl. & P. En: C. Bas, M. E. Noordeloos, E. C. Vellinga (Eds.), *Flora Agaricina Neerlandica: Critical monographs on families of agarics and boleti occurring in the Netherlands* (1ª Ed.). Rotterdam: A.A. Balkema: 77–177.
- Noordeloos, M. E. (2005). Coprinaceae Overeem. En: C. Bas, T. Kuyper, M. Noordeloos, Vellinga E. (Eds.), *Flora Agaricina Neerlandica: Critical monographs on families of agarics and boleti occurring in the Netherlands* (1ª Ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group: 21–109.
- Noordeloos, M. E. (2011). *Strophariaceae s.l.* Origgi: Candusso.
- Pérez-Torrón, G., Fernández-Ricón, H., Castro, M. L. (2015). Macromicetos do monte da Picaraña na parroquia de Arcos (Ponteareas, Pontevedra). *Mykes* 18: 7–27.
- Requejo, O., Castro, M. L. (2017). *Micobiota de la ZEC Gándaras de Budiño (Pontevedra, N.O. Península Ibérica)*. Guineana (Vol. 22). Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Reserva da Biosfera Área de Allariz (2008a). *Guía da Reserva da Biosfera: A Bola, Rairiz de Veiga, Vilar de Santos, Allariz* (1ª Ed.). Allariz: Asociación da Reserva da Biosfera “Área de Allariz ADIVA-BORA”.
- Reserva da Biosfera Área de Allariz (2008b). *Reserva da Biosfera - Área de Allariz*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://www.areadeallariz.com/index.asp>
- Robich, G. (2003). *Mycena D'Europa* (1ª Ed.). Trento: A.M.B.-Fondazione Centro Studi Micologici.
- Robich, G. (2016). *Mycena D'Europa Volume 2* (1ª Ed.). Trento: A.M.B.-Fondazione Centro Studi Micologici.
- Rodríguez-Vázquez, J., Castro, M. L. (2016). *Micobiota galega, 1867-2015 (Ascomycota, Basidiomycota)*. Documento preliminar para a base de datos micológica galega MICBIOTAGALICIA.MDB. Recuperado o 16 de maio de 2018 de <http://www.mykes.es/contidos/>
- Roskov, Y., Abucay, L., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P. M., Bourgoin, T., DeWalt, R.E., Decock, W., De Wever, A., van Nieukerken, E., Zarucchi, J., Penev, L. (Eds.). (2018). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: March 2018*. Leiden: Species 2000. Recuperado o 2 de maio de 2018 de www.catalogueoflife.org/col
- Ruggiero, M.A., Gordon, D.P., Orrell, T.M., Bailly, N., Bourgoin, T., Brusca, R.C., Cavalier-Smith, T., Guiry, M.D., Kirk, P.M. (2015) A higher level classification of all living organisms. *PLoS ONE* 10(6): e0130114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119248>
- Sarnari, M. (1998). *Monografia illustrata del genere Russula in Europa. Tomo Primo* (1ª Ed.). Trento: A.M.B.-Fondazione Centro Studi Micologici.
- Sarnari, M. (2005). *Monografia illustrata del genere Russula in Europa. Tomo Secondo* (1ª Ed.). Trento: A.M.B.-Fondazione Centro Studi Micologici.
- Sato, H., Morimoto, S., Hattori, T. (2012). A thirty-year survey reveals that ecosystem function of fungi predicts phenology of mushroom fruiting. *PLoS ONE* 7(11): e49777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049777>
- Soliño Pérez, A. M. (2004). *Macromicetos de Galicia: catálogo bibliográfico y distribución (1850-2002)*. Tese de doutoramento. Universidade de Vigo.
- UNESCO (2017a). *Biosphere Reserves in Europe and North America*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/europe-north-america/>
- UNESCO (2017b). *World Network of Biosphere Reserves (WNBR)*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/world-network-wnbr/>
- UNESCO (2017c). *Zoning schemes*. Recuperado o 2 de maio de 2018 de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/main-characteristics/zoning-schemes/>
- Vellinga, E. C. (1990). *Pluteaceae Kotl. & P.* En: C. Bas, T. W. Kuyper, M. E. Noordeloos, E. C. Vellinga (Eds.), *Flora Agaricina Neerlandica: Critical monographs on families of agarics and boleti occurring in the Netherlands* (1ª Ed.). Rotterdam: A.A. Balkema: 31–64.
- Vellinga, E. C. (2001). *Agaricaceae (Fr.) Cohn*. En: C. Bas, T. Kuyper, M. Noordeloos, E. Vellinga (Eds.), *Flora Agaricina Neerlandica: Critical monographs on families of agarics and boleti occurring in the Netherlands* (1ª Ed.). Lisse: A.A. Balkema: 21–162

A mediación como ferramenta para a mellora da convivencia no I.E.S. Antón Alonso Ríos de Tomiño

Traballo Fin de Máster
Máster en Profesorado

Titoras:
Iria Giráldez Ramallo
Marisa Castro Cerceda

Rodríguez Romero, M.

monica.rodriguez.romero@uvigo.es

Resumo

O presente traballo de investigación ten como fin de coñecer a viabilidade da posta en marcha dun programa de mediación no IES Antón Alonso Ríos de Tomiño. A mediación é un proceso de resolución de conflitos voluntario, pacífico, confidencial e educativo, asistido por unha terceira persoa formada, que atende á parte emocional e facilita o diálogo, para que así as partes implicadas acaden un acordo satisfactorio. Os resultados obtidos indican que o estado da convivencia no centro é bo e é viable a posta en marcha dun programa de mediación no centro para a resolución de conflitos, facendo especial fincapé na presentación do programa ao alumnado e ofrecéndolles a opción de ter como mediador/a un/ha alumno/a ou un/ha profesor/a.

Introdución

A convivencia nos centros educativos é unha das temáticas na que se fai especial fincapé na lexislación educativa vixente (Lei Orgánica 2/2006, do 3 de maio, de Educación, LOE, modificada parcialmente pola Lei Orgánica 8/2013, do 9 de decembro, para a mellora da calidade educativa, LOMCE), xa que é preciso un bo ambiente nos centros para manter a motivación e o rendemento de toda a comunidade educativa (Binaburo & Muñoz, 2007) e facilitar deste xeito que se acaden satisfactoriamente os obxectivos da educación secundaria, neste caso concreto.

Nos centros educativos, como lugares de interacción social, son múltiples as causas que poden levar á existencia de conflitos entre os diferentes membros da comunidade educativa, polo que é importante aplicar programas ou plans para a mellora da convivencia, non ca fin de evitar ou erradicar os conflitos, senón para atopar un xeito adecuado de resolvelos (Conde Vélez, 2012).

O conflito tradicionalmente foi visto como algo negativo que se debe evitar, sen embargo segundo a opinión de expertos o conflito é algo necesario na evolución das sociedades humanas (Conde Vélez, 2012) e debéra ser afrontado de xeito positivo coa intención de que sirva para o desenvolvemento do grupo (Martín *et al.*, 2003). Tendo en conta que aprender a vivir xuntos constitúe uns dos pilares da educación (Dolors, 1996), a mellora da convivencia nos centros educativos buscando estratexias de solución pacífica de conflitos pode chegar a ser un reto e á vez unha actividade de ensinanza-aprendizaxe moi enriquecedora e construtiva (Binaburo & Muñoz, 2007).

Centrándonos nos conflitos entre o alumnado, colectivo maioritario dos centros educativos, tradicionalmente a estratexia seguida para a resolución de conflitos é a vía punitiva, que consiste na imposición por parte dunha figura de

poder (profesor/a, titor/a ou membro da dirección) dunha sentenza a modo de castigo, advertencia, falta, etc., na que habitualmente unha parte sae beneficiada e a outra prexudicada. Como alternativas a esta vía tradicional, tal e como ven contemplado na actual lexislación galega sobre convivencia na comunidade educativa (Lei 4/2011 desenvolvida no Decreto 8/2015) a mediación parece ser unha vía adecuada para axudar ao alumnado na busca de acordos, así coma na aprendizaxe de estratexias para chegar a resolver pacificamente os conflitos non soamente nos centros educativo senón no seu día a día.

O uso da mediación no ámbito educativo é relativamente recente (Binaburo & Muñoz, 2007; García-Raga *et al.*, 2012), entendendo por mediación un proceso de resolución de conflitos na que as dúas partes enfrontadas acoden voluntariamente a unha terceira persoa para que analicen e dialoguen voluntariamente sobre as súas diferenzas e intenten chegar a un acordo conxunto (de Armas Hernández, 2003). A terceira persoa que asiste a esta negociación é a mediadora, que actúa de forma imparcial e confidencial, axuda a recoñecer e comprender as diferenzas que existen entre as partes implicadas e a atopar puntos en común, novas perspectivas que permitan avanzar cara compromisos e acordos que satisfagan a ambas partes (Binaburo & Muñoz, 2007).

Esta terceira persoa debe estar formada e presentar unha serie de cualidades (García Barreiro *et al.*, s.a.) e utilizar as ferramentas axeitadas (de Armas Hernández, 2003) para que o proceso de mediación se leve a cabo satisfactoriamente. A persoa mediadora non é xuíz nin árbitro, non impón solucións nin opina sobre quen ten razón, o que busca é satisfacer ás necesidades das partes en disputa, regulando o proceso de comunicación para chegar a unha solución na que todos gañen ou queden satisfeitos (Binaburo & Muñoz, 2007).

Nos centros educativos podería exercer de mediador/a calquera integrante da comunidade educativa con formación previa, pero estudos recentes destacan a efectividade da mediación entre iguais para resolver conflitos entre o alumnado (Avivar Cáceres *et al.*, 2017; Villanueva Badenes *et al.*, 2013; Burrell *et al.*, 2003; Cowie & Fernández, 2006). Nestes casos a persoa mediadora sería un alumno ou alumna con formación en mediación, quen asiste na resolución de conflitos entre compañeiros/as. A efectividade da mediación entre iguais non soamente se materializa no número de conflitos resolto con éxito, senón tamén na adquisición de habilidades sociais e aprendizaxes emocionais por parte do alumnado implicado no conflito (Şahin *et al.*, 2011) e tamén por parte do alumnado mediador (Ibarrola-García & Redín, 2013), xa que a mediación en si supón un proceso educativo para tódalas partes implicadas (Cowie & Fernández, 2006).

O IES Antón Alonso Ríos de Tomiño é un centro que conta con máis de 570 alumnos e alumnas cursando a Educación Secundaria Obrigatoria (ESO), Bacharelato, algún ciclo de FP (Formación Profesional) ou FP-Básica (FPB); onde dende o inicio do curso 2017-2018 está pódose en marcha un «programa de mediación», centrado na mediación entre iguais. Este proxecto enmarcase dentro do Plan de convivencia do centro ca fin de melloralas e ter unha vía alternativa á vía punitiva para resolver os problemas que se producen entre o alumnado.

Os pasos seguidos para a posta en marcha deste programa de mediación entre iguais consistiu na busca dunha persoa coordinadora que o liderara. Neste caso foi unha profesora do centro con formación previa neste campo, encargada de redactar o proxecto e presentalo ao claustro e posteriormente ao consello escolar, onde foi aprobado para a súa posta en marcha. A continuación, formouse un equipo de mediación constituído pola coordinadora, a orientadora e a xefa de estudos do centro. Acto seguido procedeuse a seleccionar futuros alumnos/as candidatos/as a ser mediadores/as, para isto en primeiro lugar determináronse as cualidades que deberían ter estes candidatos/as que foron a capacidade de expresar as emocións de xeito controlado, ter unha comunicación fluída, capacidade de tomar decisións, amosar empatía, gustarlle a paz e a tranquilidade, fomentar a cooperación e a participación, respectar as diferentes opinións, ter responsabilidade e potencial de liderado.

A parte formativa dos/as futuros/as alumnos/as mediadores/as, levouse a cabo en horario extraescolar por parte da coordinadora do proxecto, en seis sesións de hora e media cada unha, onde se afondou na definición, características e tipos de mediación e conflitos, traballáronse as habilidades e estratexias de comunicación, así como a intelixencia emocional e linguaxe corporal. No momento de realización deste traballo de investigación, o programa atopábase no período formativo dos futuros/as mediadores/as. O resto do alumnado non tiña coñecemento formal deste proxecto, aínda que cando se producía algún conflito entre alumnos/as no que fose preciso axuda para atopar algunha solución a coordinadora do programa de mediación ou a orientadora do centro actuaban como mediadoras, adicando dúas horas semanais do seu horario

lectivo a esta tarefa, tendo resultados aparentemente positivos (comunicación persoal, 2018).

Os pasos previstos a seguir trala finalización da formación serán a presentación do equipo de mediación na páxina web do centro e nas redes sociais, establecer unha reunión semanal, dar a coñecer o programa de mediación ao resto da comunidade educativa e comezar a funcionar.

Ca fin de comprobar a hipótese inicial da viabilidade e boa acollida por parte do alumnado deste proxecto cando comece a fase de actuación da mediación entre iguais, así como establecer comparacións entre as preferencias do alumnado entre a mediación realizada por unha persoa adulta (profesor/a, titor/a ou orientador/a) e a mediación entre iguais e comprobar a hipótese dun bo estado xeral da convivencia no centro de estudo, propúxose este traballo.

Material e Métodos

A primeira fase de traballo consistiu na recadación de información sobre o proxecto e sobre o propio centro. Con esta fin realizáronse varias entrevistas ca coordinadora do proxecto, onde se deu a coñecer o estado e os obxectivos do mesmo e que se pretendía acadar. As entrevistas foron libres, sen un guión previo, onde se foron resolvendo dúbidas a medida que xurdían. Nesta primeira fase, e ca fin de ter un coñecemento do estado do proxecto de primeira man, tamén se participou nas xornadas de formación do alumnado mediador, asistindo e participando nas mesmas coma unha alumna máis en proceso de formación. Unha vez tido coñecemento e recadada información sobre o proxecto, iniciouse a fase de recollida de datos.

Para a recollida de datos sobre a convivencia e a viabilidade da implementación do proxecto de mediación no centro deseñouse unha enquisa anónima que combinaba preguntas de reposta pechada e preguntas de resposta aberta, ca fin de poder obter a maior cantidade de información posible por parte do alumnado acerca do estado da convivencia no centro, así sobre cales eran os conflitos máis habituais no mesmo e indagar acerca da resolución de conflitos e a aceptación e posible uso que faría o alumnado do servizo de mediación, comparando a mediación entre iguais con aquela mediación na que a mediadora sexa unha persoa adulta, neste caso un/ha profesor/a. Con fins comparativos, na enquisa requiríase o curso, sexo e idade do enquisado/a. Dado que a maioría do alumnado ao que ía dirixida a enquisa descoñecía a existencia da mediación, na propia enquisa incluíuse unha descrición breve e unha imaxe representativa, para que o alumnado puidera contestar ao terceiro grupo de preguntas.

Dado que a maioría do alumnado ao que ía dirixida esta enquisa era menor de idade, previamente redactouse unha nota informativa destinada aos pais/nais/titores informando da realización de dita enquisa, e de ser o caso da posibilidade de non dar permiso aos seus fillos/as de realizala. Á enquisa ía destinada a todos os alumnos/as de ESO e FPB que conformaban un total de 425 alumnos/as, recolléndose datos dun total de 403 alumnos/as.

Unha vez recollidas as enquisas procedeu-se á terceira e última fase de traballo, que consistiu en primeiro lugar no procesado dos datos. Cada enquisa en formato papel, foi dixitalizada nunha táboa de datos no programa Excel de Microsoft Office. As respostas abertas foron en primeiro lugar transcritas literalmente, e posteriormente procesáronse ca fin de obter categorías ou grupos de respostas para poder analizar os datos recollidos. Os datos analizáronse no propio programa Excel onde se realizaron gráficos e táboas ca fin de resumir e representar os resultados obtidos, as análises estatísticas realizáronse ca ferramenta PopTools do propio programa.

Resultados e Discusión

Estado da convivencia do IES Antón Alonso Ríos

De forma xeral os resultados obtidos confirman a hipótese inicial dun bo ou moi bo estado da convivencia no IES Antón Alonso Ríos xa que, tal e como se pode observar na Figura 1, o 80% do alumnado considera que normalmente existe un bo ambiente xeral no instituto e un 13% que sempre hai bo ambiente no centro (Figura 1.a). Un resultado aínda máis positivo se obtivo cando se preguntou sobre a relación cos/as compañeiros/as, sendo a resposta maioritaria (49%) que sempre se levan ben, seguida de que normalmente (47%) se levan ben cos/as compañeiros/as (Figura 1.b). Por último, tamén consideran que normalmente (63%) ou sempre (27%) se levan ben co profesorado (Figura 1.c). Este estado bo ou moi bo da convivencia non exige da presenza de conflitos, tal e como mostran os resultados da Figura 1.d, 1.e, onde en ambos casos a resposta maioritaria foi a da existencia de poucos conflitos tanto no instituto coma na aula, seguida de bastantes e ningún, respectivamente. En xeral, os resultados obtidos son similares aos obtidos noutros estudos realizados a nivel estatal (Gázquez *et al.*, 2005; Xunta de Galicia, 2015) e moito mellores que aos obtidos nun estudo publicado no ano 1999 en Galicia (Zabalza Beraza, 1999), onde apenas un 12,4% do alumnado consideraba que o estado da convivencia era moi bo e un 43,3% consideraba que o estado estaba en valores normais.

Centrándonos máis nos conflitos do centro, o alumnado considera que estes prodúcense máis frecuentemente entre alumnos/as (resposta dada por un 56% do alumnado enquisado) seguido dos conflitos entre alumnos/as e profesores/as (39%) (Figura 1.f). Por outra banda, os resultados indican que os conflitos máis frecuentes no centro entre alumnos/as son os insultos, seguidos de falar dos demais ás costas, motes ofensivos, empuxóns e rirse de defectos físicos (Figura 1.g). De todos xeitos, é importante destacar que todas as opcións dadas na enquisa (14 opcións) foron escollidas polo menos por 11 alumnos/as (Figura 1.g) e incluso se aportaron outros conflitos,

como foron conflitos por relacións amorosas, espiar nos recreos ou problemas entre mulleres e homes.

Por último, os resultados mostran que existe unha ampla variedade de materias onde se producen conflitos, sendo a área de Ciencias Tecnolóxicas (Matemáticas e Tecnoloxía) (19%), seguida da área de Humanidades (Inglés, Francés, Lingua Castelá, Lingua Galega, Oratoria, Valores Éticos e Música) (17%) ás máis conflitivas (Figura 2.h). Aínda que é destacable que a maioría do alumnado optou por non responder esta pregunta (35%) e moitos indicaban que non existía ningunha materia en concreto (10%) ou que todas mostraban os mesmos conflitos por igual (2%). Cando se lle pregunta ao alumnado por que existe maior conflitividade nestas materias, a resposta maioritaria, despois de non contestar (Ns/Nc), foi a de argumentar algún problema co/a profesor/a (Figura 2.h). É dicir, xeralmente os conflitos non se deben a factores intrínsecos da materia, senón a problemas co/a docente (falta de feeling, discrepancias no xeito de corrixir, falta de entendemento entre alumnos/as e profesores, etc). Moi poucos estudos se atopan publicados sobre a relación entre as materias e os conflitos, aínda que poderíase destacar o de Torres-Neira & Montero (2014) onde se indica que aparentemente a materia máis conflitiva é a de Educación Física debido á maior liberdade que posúe o alumnado e a desorganización de espazos e dos ritmos, resultados que non se atoparon no presente estudo. De todos xeitos, nesta pregunta obtivéronse multitude de argumentos pero cunha frecuencia moi baixa (menos de 15 persoas coincidiron en cada un dos argumentos dados), entre as que cabería destacar que o alumnado asocia a presenza de conflitos co mal comportamento do alumnado en algunhas materias, tamén coa excesiva liberdade e falta de control por parte do profesorado ou materias nas que se expoñen opinións propias que acaban producindo discrepancias e conflitos.

Esta sondaxe do estado da convivencia do IES Antón Alonso Ríos aporta datos concretos e específicos do estado da convivencia no centro, útiles para poder deseñar ou adaptar proxectos ao contexto no que se van a aplicar, tal e como se contempla no plan de convivencia escolar galego (Xunta de Galicia, 2015) e estatal (Miguel Pérez *et al.*, 2016). En resumo os datos mostran un estado da convivencia positivo ou moi positivo, tamén nos da a grosso modo unha idea dos conflitos máis habituais no centro. Todos estes datos son necesarios e de especial relevancia para confirmar a necesidade, aínda que non urxencia, de pór en marcha proxectos centrados na resolución de conflitos, especialmente en conflitos entre o alumnado xa que este é o colectivo onde se producen maioritariamente, coma o que se comezou a poñer en marcha baseado na mediación entre iguais. Estes resultados tamén poderán servir nun futuro de referencia para poder facer comparativas e establecer novas estratexias de mellora.

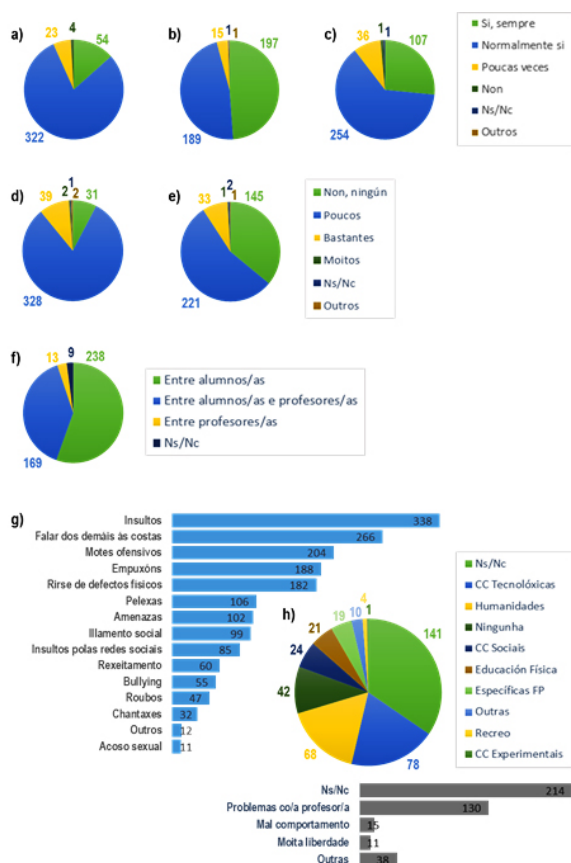


Figura 1. Resultados obtidos na enquisa realizada ao alumnado do IES Antón Alonso Ríos nas preguntas que tentaban indagar acerca da convivencia no centro. Os resultados obtidos sobre (a) o ambiente xeral do centro, (b) a relación entre o alumnado dentro das aulas, (c) a relación do alumnado cos profesores/as, (d) a existencia de conflitos no centro, (e) a existencia de conflitos nas aulas, e (f) as persoas entre as que se producen conflitos habitualmente no centro, representáronse en diagramas circulares, indicando a frecuencia relativa do total de respostas obtidas nun código de cores cuxa correspondencia se pode observar nas lendas. As frecuencias absolutas obtidas para cada posible resposta indícase numericamente, seguindo o mesmo código de cores. Na figura tamén se indica mediante un diagrama de barras (g) os tipos de conflitos máis habituais no centro, indicando en cada caso a frecuencia absoluta obtida ordenadas de maior a menor frecuencia. Por último, os resultados obtidos acerca de (h) en que materia se producen máis conflitos, representouse mediante un diagrama circular seguindo as pautas indicadas anteriormente, agrupando as materias en distintas áreas de coñecemento (CC. Tecnolóxicas: matemáticas e tecnoloxía; Humanidades: inglés, francés, lingua galega, lingua castelá, música, oratoria, plástica, valores éticos; CC. Experimentais: física e química, bioloxía e xeoloxía; CC. Sociais: sociais, xeografía e historia; Educación Física; e Específicas de FP: composicións florais, mantemento de xardíns), ademais mediante un diagrama de barras indicáronse as xustificacións dadas polo alumnado sobre a relación entre os conflitos e as materias, aquelas cunha frecuencia absoluta inferior a 10 agrupáronse na categoría de "Outras".

Resolución de conflitos e viabilidade da implementación dun servizo de mediación no IES Antón Alonso Ríos

Aproximadamente a metade do alumnado enquisado non tiveron (52%) ningún conflito cos seus compañeiros/as, e a outra metade si (46%) (Figura 2.a). O xeito de solucionar os

problemas por este alumnado que si tivo algún tipo de problema foi, maioritariamente falando, seguido dos que optaron por ignorarse, pedir axuda a un profesor/a, deixando pasar un tempo ou pelexando (Figura 2.a). Desta primeira pregunta, extrapolamos que unha ampla porcentaxe do alumnado ten conflitos cos seus compañeiros/as, resultado nada sorprendente tendo en conta que pasan e conviven no centro moitas horas ao día e ao longo de varios anos. Por outra banda, o xeito de solucionar os problemas parece satisfactorio e pacífico para a maioría dos que xustificaron como o facían, pero tamén se podería destacar que moitos/as alumnos/as indican que precisaron a axuda dun profesor/a, titor/a, orientador/a, director/a, xefe/a de estudos ou incluso dun pai/nai. Tamén é destacable que nalgúns casos o xeito de solucionar os conflitos non foi a máis axeitada (Şahin *et al.*, 2011), como os que indican que se pelexaron, optaron por calar, ignorarse ou directamente non chegaron a solucionar o problema.

Unha ampla maioría do alumnado (83%) considera que a mediación é útil para a resolución de conflitos, mentres un 15% consideran que non (Figura 2.b). O alumnado pensa que a mediación podería ser útil porque facilitaría ou solucionaría os conflitos, mellorando a convivencia no centro, evitando as pelexas e a violencia. Outro grupo de alumnos/as fan referencia a que a presenza dunha terceira persoa (o/a mediador/a) axudaría a solucionar o problema, a mediación facilitaría a que as partes en conflito dialogaran e se comunicaran, reflexionasen e se calmasen para así poder chegar a un acordo. Entre as xustificacións dadas cabería destacar que se detecta a presenza dunha visión errónea da figura do/a mediador/a, como persoa encargada de directamente solucionar o problema, incluso indican nalgúns casos que esta daría a súa opinión, cando realmente o problema debe ser solucionado polas persoas implicadas e a mediadora simplemente actúa como unha guía facilitando a comunicación e a chegar a acordos satisfactorios para ambas partes (Binaburo & Muñoz, 2007).

Por outra banda, aquelas persoas que consideran que a mediación non é útil para a resolución de problemas dan como xustificación maioritaria, despois da opción de non contestar (Ns/Nc), que os problemas os debe solucionar un mesmo sen axuda de terceiras persoas, incluso algún alumno/a especifica que pedir axuda sería de covardes. A seguinte resposta máis común foi que sería un servizo non útil ou non se utilizaría, sen xustificar o porqué. Tamén son destacables as respostas que fan referencia directa á figura do/a mediador/a, alegando que non habería a suficiente confianza para contarlle os problemas, que o/a mediador/a nunca sería totalmente imparcial e se decantaría por unha das partes, e finalmente, que directamente non se lle faría caso (Figura 2.b). Nestas respostas ponse de manifesto de novo a visión errada da figura do/a mediador/a e da finalidade da mediación, non sendo esta unha vía obrigatoria para a resolución de conflitos, senón un servizo optativo ao que alumnado pode escoller se accede a facer uso del ou non libremente, e estando entre os deberes do/a mediador/a o de manter a confidencialidade e a imparcialidade durante todo o proceso de resolución do conflito (García Barreiro *et al.*, s.a.). Os resultados obtidos sobre a utilidade da mediación na resolución de conflitos parecen indicar unha opinión

maioritariamente positiva por parte do alumnado, a maioría do cal, tal e como se detallou anteriormente, non tiña coñecementos previos sobre a existencia deste servizo no centro. É destacable que moitos/as alumnos/as chegan a xustificar a utilidade da mediación describindo moitas das súas características, pero outros tamén poñen de manifesto crenzas ou características erradas, especialmente aqueles/as alumnos/as que non a ven útil. Estes resultados indican a necesidade de esclarecer as funcións e a finalidade da mediación na resolución de conflitos, para que deste xeito o alumnado poda chegar a valorar a súa utilidade, facendo especial fincapé na figura do/a mediador/a como persoa que asiste na mediación e non encargada de impor unha solución.

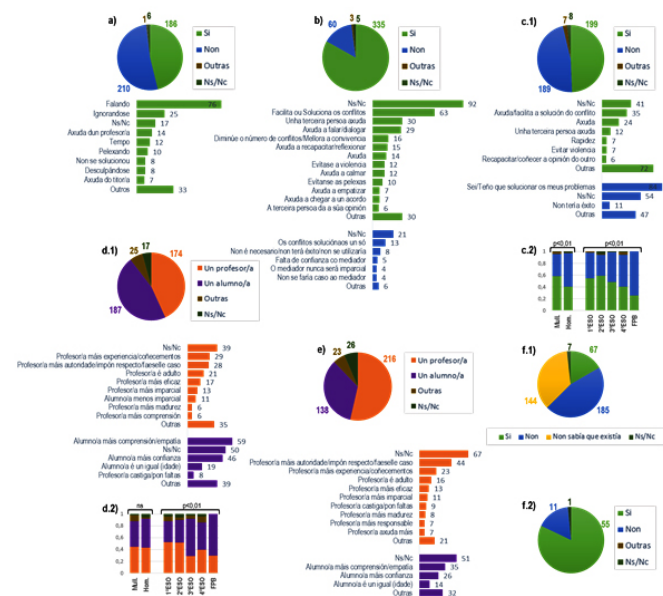


Figura 2. Resultados obtidos na enquisa realizada ao alumnado do IES Antón Alonso Ríos nas preguntas que tentaban indagar acerca da resolución de conflitos e do éxito e utilidade da implementación dun servizo de mediación no centro. Os resultados obtidos sobre (a) se o alumnado tivera algún conflito cos/as compañeiros/as, (b) se a mediación lles parecía útil, (c1) se en caso de precisalo pedirían axuda a un/ha mediador/a, (d1) quen preferirían que exercera de mediador/a, (e) que servizo consideraban que tería máis éxito no centro, (f1) se fixeran uso do servizo de mediación e (f2) en caso de ter feito uso del se fora útil; representáronse en diagramas circulares, indicando a frecuencia relativa do total de respostas obtidas nun código de cores cuxa correspondencia se pode observar nas lendas. As frecuencias absolutas obtidas para cada posible resposta indícase numericamente, seguindo o mesmo código de cores. Nos apartados c2) e d2) representáronse mediante diagramas de barras representáronse os resultados das comparacións realizadas entre as respostas dadas por alumnas (Mull.) e alumnos (Hom.) e entre alumnado de diferentes niveis (1º, 2º, 3º, 4º de ESO e FPB), aplicando a cada comparación (sexos e niveis educativos) un test estatístico chi-cuadrado, cuxos resultados se indican na parte superior de cada gráfico, sendo os resultados non significativos (ns) ou significativos ($p < 0,01$). Na figura tamén se indica mediante un diagrama de barras as xustificacións dadas nos apartados a), b), c), d) e e), utilizando a cor correspondente á resposta dada na pregunta principal. Aquelas respostas cunha frecuencia absoluta inferior a 3, 5 ou 10, dependendo do caso, agrupáronse na categoría de "Outras" ca fin de facer as gráficas resultantes máis manexables.

Este resultado inicialmente alentador sobre a utilidade dun servizo de mediación no centro diminúe considerablemente cando se lle pregunta ao alumnado se en caso de ter un conflito cun/ha compañeiro/a e precisar axuda farían uso persoalmente deste servizo, aumentando a un 47% a porcentaxe de alumnado

enquisado que alega que non o usaría (Figura 2.c1). Entre as xustificacións dadas é destacable que a ampla maioría alega que os problemas debe solucionar os un/ha mesmo/a sen axuda de ninguén e/ou que eles vense capacitados/as para solucionarlos. Resposta que de novo pon de manifesto unha visión errada da mediación como servizo para a solución de problemas por imposición e non como ferramenta para conseguir que as partes en conflito solucionen por si mesmas as súas discrepancias voluntariamente. Por outra banda, un total de 199 alumnos/as (49% do alumnado enquisado) responderon que si farían uso do servizo de mediación xa que o servizo en si mesmo ou a presenza dunha terceira persoa axudaría á resolución do problema, ademais esta solución podería ser máis rápida e evitárase a violencia (Figura 2.c1). Atopáronse diferenzas estatisticamente significativas entre sexos, mentres as alumnas mostran unha maior predisposición ao uso do servizo de mediación, os alumnos mostran maior reticencia (Figura 2.c2). Estes resultados débense a que un 50,1% de alumnos que consideran a mediación útil responderon que non a utilizarían persoalmente, fronte ao 31,0% de alumnas. Á razón maioritaria, común para ambos sexos, foi que consideran que eles/as poden solucionar os seus problemas. Estas diferenzas atopadas entre sexos podería estar relacionadas co diferente xeito de afrontar os conflitos durante a adolescencia, onde segundo diversos estudos as mulleres tenden a buscar pactos e os homes pola contra, séntense máis seguros ante os conflitos, chegando a desfrutar deles, tendo a necesidade de sentirse respectados ante o grupo de iguais (Martín Bravo & Navarro Guzmán, 2011). Tamén se atoparon diferenzas significativas entre o alumnado de diferentes niveis educativos. O alumnado de niveis de secundaria cunha media de idade menor (1º e 2º de ESO) parece ter unha maior predisposición ao uso deste servizo que o alumnado de niveis con media de idade superior (3º e 4º de ESO e FPB) (Figura 2.c2). Esta asociación á idade poderían estar relacionada ca maior autonomía persoal e o considerarse capaces de solucionar os seus propios problemas. Estes resultados tamén se poderían explicar porque algún alumnado de niveis da ESO baixos deste instituto xa tiveron experiencia previa ca mediación na Educación Primaria. De todos xeitos, de novo se pon de manifesto a visión errada da mediación, non como ferramenta para usar cando un precisa axuda, na que as partes implicadas chegan a acordos, e si como algo impositivo e non voluntario na que se acata unha solución dada por unha terceira persoa.

Cando se intenta indagar acerca da figura do/a mediador/a, un 47% do alumnado preferiría que en caso de ter un conflito este fose un/ha alumno/a, mentres que un 43% preferiría que fose un/ha profesor/a (Figura 2.d1), resultados moi equitativos. No primeiro caso as xustificacións que dan é que un/ha alumno/a comprendería mellor os problemas ou tería maior empatía, daría máis confianza ao tratarse dun/ha igual (ter a mesma idade) e a diferenza dos/as profesores/as non poden pór faltas ou castigar. No segundo caso, as xustificacións que dan os que prefiren que o/a mediador/a sexa un/ha profesor/a son que teñen máis experiencia e/ou coñecementos, impoñen máis respecto e por tanto faríase caso, son adultos e máis eficaces á hora de solucionar os conflitos, e algo moi relevante, que consideran

que os/as profesores/as son máis imparciais mentres que os/as alumnos/as non o serían (Figura 2.d1). Non se atoparon diferencias entre as respostas dadas por alumnas e alumnos pero, sen embargo, si entre alumnado de diferentes niveis educativos (Figura 2.d2). O alumnado de niveis de secundaria cunha media de idade menor (1º e 2º de ESO) preferirían que a persoa mediadora fora un/ha profesor/a, mentres que os niveis cunha media de idade superior (3º e 4º de ESO e FPB) preferirían a un/ha alumno/a (Figura 2.d2). Estes resultados poderían ter unha relación directa cas propias características psicoevolutivas da adolescencia, etapa na que se atopa o alumnado enquisado, onde se produce un cambio nas figuras de referencia, pasando de ser as persoas adultas a ser as persoas da mesma idade ou os iguais (Martín Bravo & Navarro Guzmán, 2011). Este cambio nas figuras de referencia está asociado co ámbito no que o/a adolescente se sente seguro, con maior confianza e incluso no cal acoller de forma voluntaria os consellos (Martín Bravo & Navarro Guzmán, 2011). Características todas elas directamente relacionadas ca mediación, xa que é preciso que as persoas en conflito se sintan seguras e en confianza co/a mediador/a para que a resolución dos conflitos sexa satisfactoria. Dependendo da madurez de cada alumno/a e do seu desenvolvemento psicolóxico, as figuras de referencia serán unhas ou outras (Martín Bravo & Navarro Guzmán, 2011).

Estes resultados sobre as preferencias a nivel persoal cambian considerablemente cando se pregunta sobre que servizo consideran que tería máis éxito no IES, onde a porcentaxe de alumnado que considera máis eficaz un servizo onde o/a mediador/a sexa un/ha profesor/a aumenta considerablemente (54%) fronte ao que considera que tería máis éxito aquel no que fora un/ha alumno/a (34%) (Figura 2.e). As xustificacións dadas en ambos casos son moi similares ás comentadas no apartado anterior, aínda que de todos xeitos, é posible que estes resultados estean condicionados á falta de experiencia na resolución de conflitos ca axuda de iguais formados, xa que tradicionalmente no centro esta función desenvólverona profesores/as, titores/as ou membros do equipo de dirección. Sería recomendable, unha vez posto en marcha o programa de mediación no centro, repetir esta cuestión ao alumnado, para ver se a súa visión en canto ao éxito de ambos servizos cambia. Os resultados xerais obtidos nesta parte da investigación levada a cabo no presente traballo, mostran unhas expectativas positivas para a implementación dun servizo de mediación no centro, confirmándose a hipótese inicial sobre a súa viabilidade e boa acollida. Aínda que ca necesidade de aportar ao alumnado a información precisa para este ter a liberdade e a opción de facer uso del, así como para esclarecer algunhas percepcións erróneas que poderían estar dando lugar ás reticencias a priori de facer uso deste servizo. Na enquisa tamén se fixo unha breve e limitada sondaxe do éxito da mediación levada a cabo ata o momento, utilizada por un 16% do alumnado enquisado (Figura 2.f1), do cal un 82% quedou satisfeito co resultado (Figura 2.f2). Reafirmándose de novo as expectativas positivas do proxecto que se está pondo en marcha. En canto á figura do/a mediador/a, os resultados indican unha tendencia asociada á idade, mentres o alumnado con menor idade mostra máis

confianza cara unha persoa adulta, no alumnado maior parece que terá máis éxito a mediación entre iguais. Resultados que se deberían ter en conta no momento de ofrecer a axuda por parte do equipo de mediación, adaptándose ás preferencias das partes en conflito e permitíndolles escoller aquela persoa que maior confianza e seguridade lles aporte para que o proceso de mediación se leve a cabo satisfactoriamente.

Como posible liña de continuación da investigación iniciada neste traballo, e ca fin de ter datos sobre o éxito real do programa de mediación no centro e poder establecer comparacións cos resultados aquí presentados, sería recomendable repetir un estudo similar sobre a mesma mostra de persoas enquisadas, e incorporando ao resto do profesorado do centro, para poder seguir facendo melloras e cambios adaptados ao contexto no que se aplican (Raga *et al.*, 2016; Silva Lorente & Torrego Seijo, 2017), neste caso o IES Antón Alonso Ríos de Tomiño.

Conclusións e Aplicacións

As principais conclusións e aplicacións directas que se extraen deste traballo son:

1. A instauración dun programa de resolución de conflitos no IES Antón Alonso Ríos é axeitado, xa que pese a que o estado xeral da convivencia no centro e bo ou moi bo, existen conflitos que se producen maioritariamente entre o alumnado, sendo os insultos, falar dos demais ás costas, motes ofensivos, empuxóns e rirse de defectos físicos, os máis habituais.
2. O programa de resolución de conflitos no IES Antón Alonso Ríos poderá ser xeral e non especializado por materias, xa que os resultados indican que as relacións entre os conflitos e as materias débense principalmente a problemas co/a profesor/a e non a características intrínsecas da materia.
3. A implementación do servizo de mediación no IES Antón Alonso Ríos parece satisfactoria e que terá éxito entre o alumnado de secundaria, aínda que é preciso adicar esforzo á información e presentación do programa ao alumnado, facendo especial fincapé nas funcións da persoa mediadora.
4. O alumnado de menor idade do IES Antón Alonso Ríos prefere que a persoa que exerza de mediadora sexa un adulto, mentres que o alumnado maior prefere aos iguais, polo que o equipo mediador deba ter en conta estas preferencias á hora de ofrecer e asignar mediadores cando o alumnado os demande.

Bibliografía

- Avivar Cáceres, S., Giménez Espert, M. C., Prado-Gascó, V. J. (2017). Formación para mediadores en habilidades comunicativas y emocionales para mejorar su intervención y prevenir el acoso escolar. *Calidad de vida y salud*, 10, 2-9.
- Binaburo, J. A., Muñoz, B. (2007). *Educación desde el conflicto*. Consejería de Educación de la Junta de Andalucía.
- Burrell, N. A., Zirbel, C. S., Allen, M. (2003). Evaluating peer mediation outcomes in educational settings: A meta-analytic review. *Conflict Resolution Quarterly*, 21, 7-26.
- Conde Vélez, S. (2012). *Estudio de la gestión de la convivencia escolar en centros de Educación Secundaria de Andalucía: una propuesta de evaluación basada en el Modelo EFQM*. Tese de doutoramento. Universidade de Huelva.
- Cowie, H., Fernández, F. J. (2006). Ayuda entre iguales en las escuelas: desarrollo y retos. *Electronic journal of research in educational psychology*, 4, 291-310.
- de Armas Hernández, M. (2003). La mediación en la resolución de conflictos. *Educación*, 32, 125-136.
- Decreto 8/2015, do 8 de xaneiro, polo que se desenvolve a Lei 4/2011, do 30 de xuño, de convivencia e participación da comunidade educativa en materia de convivencia escolar.
- Dolores, J. (Coord) (1996). *La educación encierra un tesoro*. Madrid, Santillana.
- García Barreiro, J., Giménez Fernández, O., González García, M. B., Grund Pendón, M. V., Lara Serna, B. (s.a.). *Mediación en la práctica. Manual de implantación de un servicio de mediación escolar*. España: Copicentro.
- García-Raga, L., Martínez-Usarralde, M. J., Sahuquillo, P. (2012). Towards a culture of coexistence: Mediation as a socio-educational tool. *Cultura y Educación*, 24, 207-217.
- Gázquez, J. J., Cangas, A. J., Padilla, D., Cano, Á., Pérez Moreno, P. J. (2005). Assessment by pupils, teachers and parents of school coexistence problems in Spain, France, Austria and Hungary: Global psychometric data. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 5, 101-112.
- Ibarrola-García, S., Redín, C. I. (2013). Percepción de mejora personal y social en los alumnos mediadores y mediados y profesores mediadores. *Campo Abierto*, 32, 117-143.
- Lei 4/2011, do 30 de xuño, de convivencia e participación da comunidade educativa.
- Lei Orgánica 2/2006, do 3 de maio, de Educación (LOE).
- Lei Orgánica 8/2013, do 9 de decembro, para a mellora da calidade educativa (LOMCE).
- Martín Bravo, C., Navarro Guzmán, J. I. [Coords.] (2011). *Psicología para el profesorado de Educación Secundaria y Bachillerato*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Martín, E., Fernández, I., Andrés, S., del Barrio, C., Echeita, G. (2003). La intervención para la mejora de la convivencia en los centros educativos: modelos y ámbitos. *Infancia y aprendizaje*, 26, 79-95.
- Miguel Pérez, V., Sánchez López, E., Greciet Paredes, P., Garvín Fernández, R., Crespo Balcones, J. L. [Coords] (2016). *Plan estratégico de convivencia escolar 2016-2020*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Raga, L. G., Sanchis, I. C., Mora, A. M., Santana, G. R. (2016). Fortalezas y debilidades de la mediación escolar desde la perspectiva del alumnado de educación secundaria. *Pedagogía Social*, 28, 203-215.
- Şahin, F. S., Serin, N. B., Serin, O. (2011). Effect of conflict resolution and peer mediation training on empathy skills. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 2324-2328.
- Silva Lorente, I., Torrego Seijo, J. C. (2017). Percepción del alumnado y profesorado sobre un programa de mediación entre iguales. *Qualitative Research in Education*, 6, 214-238.
- Torres-Neira, M., Montero, A. (2014). *Análisis de las Situaciones de Acoso en Educación Física en Secundaria*. España: Editorial Académica Española.
- Villanueva Badenes, L., Usó Guiral, I., Adrián Serrano, J. E. (2013). Los programas de mediación entre iguales: una herramienta eficaz para la convivencia escolar. *Apuntes de Psicología* 31, 165-171.
- Xunta de Galicia (2015). *Estratexia de Convivencia Escolar 2015-2020*. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria da Xunta de Galicia.
- Zabalza Beraza, M. A. [Dir.] (1999) *A convivencia nos centros escolares de Galicia*. Santiago de Compostela: Consellería de Educación e Ordenación Universitaria.

NORMAS PARA A PUBLICACIÓN DE ARTIGOS NA REVISTA «REVBIGO»

REVBIGO é unha revista anual da Facultade de Bioloxía, publicada inicialmente en formato papel e na actualidade en formato dixital, creada especialmente para dar a coñecer os mellores, e/ou os máis interesantes, traballos realizados polos alumnos do Grao en diversas materias, así como aqueles que están baseados nos Traballos Fin de Grao (TFG) e Traballos Fin de Mestrado (TFM) das titulacións impartidas na Facultade. Así mesmo, publícanse recensións sobre outras actividades (académicas e extraacadémicas) que durante o ano son desenvolvidas por membros da facultade.

A finalidade de REVBIGO é estimular aos alumnos no seu esforzo para a realización dos traballos, axudar a mellorar o seu *curriculum*, e informar ao resto da comunidade do traballo didáctico e de divulgación que se realiza na Facultade, tanto por parte da Dirección e do profesorado como do alumnado.

Para dar uniformidade e rigor aos artigos que se publican na revista existen unhas **NORMAS** que son de obrigado cumprimento:

1) EXTENSIÓN E ESTRUCTURA DOS ARTIGOS

Os artigos referidos a traballos de curso, TFG e TFM terán unha extensión máxima de 10 páxinas, incluíndo táboas e figuras. Deben procurar ter os seguintes apartados: Resumo, Introducción e antecedentes do tema, Obxectivos e plano de traballo, Metodoloxía, Resultados (con discusión crítica xustificada dos mesmos), Conclusións e Bibliografía. Para calquera alteración a estes apartados consultar co Comité de Redacción.

Nos baseados en TFG e TFM, se procede, tamén se pode incluír un estudo de viabilidade, presuposto ou calquera outra información que poida ser relevante para o proxecto realizado. Neste caso debe ser autorizada a publicación polo/a titor/a do traballo.

2) LINGUAXE E ESTILO

O traballo pode ser redactado en galego, castelán ou inglés, seguindo as normas de formato que se detallan a continuación:

Marxes, separación entre liñas, sangrías e notas a pé de páxina

Manter todas as marxes de 2,5 cm, o entreliñado debe ser 1,15, sen agregar espazado antes, nin despois do parágrafo. E non se incluírá ningún tipo de sangría, nin notas a pé de páxina.

Páxina inicial

Título do artigo: Times New Roman (TNR) 14 negriña e maiúsculas, centrado na páxina.

Apelidos do/s alumno/s e Nome/s abreviado/s: TNR 12 e minúsculas, exemplo López Rodríguez, J. e Martínez Pérez, A. Trátase de traballos relacionados con materias, así que só figurará como autor o responsable do artigo (ou responsables no caso de traballos realizados en grupo). Outras persoas que axudaron na súa realización poden figurar ao final nun apartado de Agradecementos, inmediatamente antes da bibliografía.

Dirección de correo electrónico do/s autor/es.

Curso e materia á que pertence o traballo e nome/s do/s titor/es (se o autoriza/n previamente por escrito) xunto co nome do departamento ao que pertence/n. En ningún caso o/a titor/a poderá figurar como autor/a.

Resumo do traballo (máximo 150 palabras) no que se explique de maneira xeral o tema, indicando si é un estudo bibliográfico ou os resultados foron obtidos a partir dun traballo de investigación.

Nesa mesma páxina continuase coa redacción do resto do artigo.

Apartados e subapartados

Títulos: TNR, 12, negriña, aliñado á esquerda.

Corpo do resto do texto: TNR 11, entreliñado 1,15 e xustificado. As cursivas só se usarán para termos latinos, como os nomes científicos das especies. Non se usarán subliñados, nin negriña nos textos.

Táboas e Figuras

Unhas e outras colocaranse aproximadamente no lugar onde se citan por primeira vez no texto e neste debe figurar, entre paréntese, a referencia a elas. Tanto as figuras como as táboas e os pés ou encabezados non serán “maquetados” no texto, nin incluídos en cadros de texto.

As táboas deben figurar intercaladas no propio texto e numeradas de forma consecutiva de acordo coa súa aparición. Anteposto á táboa indícase: Táboa nº 1, 2, xunto cun texto breve describindo o contido da mesma, en corpo 10 TNR. Sempre que sexa posible, as táboas envíanse en formato JPG como arquivos independentes do texto principal

As figuras tamén se deben numerar de forma consecutiva de acordo coa súa aparición no texto. Cada unha ten que ir acompañada dun texto ao pé (pé de figura), con corpo 10 TNR, describindo o contido da mesma, e formando parte do propio texto principal (**non incluída en cadros**). As figuras teñen que enviarse tamén en formato JPG como arquivos independentes do texto principal e con calidade suficiente para ser publicadas.

Referencias bibliográficas:

- a) Citas no texto: Van entre paréntese, indicando o apelido do autor (ou autores si se trata de dous) e o ano de publicación. No caso de incluír no mesmo lugar dúas ou máis referencias, ordenaranse cronoloxicamente. Exemplo: (Fernández 1983; Álvarez & Martínez-Palacios 1992).
Sempre que se citen traballos de máis de dous autores, debe figurar o apelido do primeiro autor seguido de “*et al.*” (cursiva) e se hai varios traballos do mesmo autor publicados no mesmo ano engadírase á data as letras a, b, c ou ... Exemplo: (Rocas *et al.* 2013, Pacheco *et al.* 2015 a,b).

- b) Bibliografía: Inclúir a listaxe de todas as referencias citadas no texto (e só esas), atendendo ao seguinte formato:
Letra TNR tamaño 10, entreliñado 1,15, xustificado, sen sangría, nin numeración, nin marcas que sinalen os traballos.

Ordenaranse alfabeticamente por apelido do/s autor/es e si se inclúen varias obras dun mesmo autor, cronoloxicamente entre si. Exemplo:

De Landsheere, G. (1982). *La investigación experimental en educación*. París: UNESCO.

De Landsheere, G. (1986). *La recherche en éducation dans le monde*. París: P.U.F

1. Citación de libros completos

Apelido do autor, inicial do nome. Data de publicación (ano). Título en cursiva. Lugar de edición: editorial.
Exemplo:

Eldridge, K.L., Davidson, J., Harwood, C., van Wyk, G. (1993). *Eucalypt domestication and breeding*. Oxford, UK: Clarendon Press.

2. Citación de capítulos de libros

Apelido do autor, inicial do nome. Data de publicación (ano). Título do capítulo. En: Apelidos e iniciais do/s editores (Ed. ou Eds.). Título do libro en cursiva. Lugar de edición: editorial. Páxinas do capítulo. Exemplo:

Balzer, I., Hoecker, B., Kapp, H., Batolomaeus, B. (2000). Occurrence and comparative physiology of melatonin in evolutionary diverse organisms. En: Vanden Driessche, T., Guisset, J-L., Petieau-de Vries, G.M. (Eds). *The redox state and circadian rhythms*. Dordrecht: Kluwer: 95–119.

3. Citación de artigos de revistas

Apelido do autor, inicial do nome. Data de publicación (ano). Título. Nome abreviado da revista en cursiva. Volume: páxinas inicial e final separadas por un guión. Exemplo:

Fujiwara, T., Maisonneuve, S., Isshiki, M., Mizutani, M., Chen, L., Wong, H.L., Kawasaki, T., Shimamoto, K. (2010). Sekiguchi lesion gene encodes a cytochrome P450 monooxygenase that catalyzes conversion of tryptamine to serotonin in rice. *J. Biol Chem.* 285: 11308-11313

4. Outros documentos

- a) Páxinas Web (webgrafía). Autor/es ou institución que realizou o documento. Ano do documento entre paréntese. Título do documento. Data de recuperación e páxina web de orixe en cursiva. Exemplo:

Institute of Higher Education, Shanghai Jiao Tong University (2008). Academic Ranking of World Universities. Recuperado o 10 de xaneiro de 2010 de <http://www.arwu.org/>

- b) Normativas/Informes, etc. Aportaranse os datos imprescindibles do organismo responsable e para a súa localización na net.

