núm. :02 2012

Chronica naturae

ISSN: 2253-6280
www.chronicanaturae.org

Revista de divulgación científica promovida y editada por HyT.

: **Chronica naturae,** ***un proyecto en crecimiento. Editorial.***

: ***La gestión de proyectos de investigación marina en España durante el VI Plan Nacional de I+D+i (2008-2011).*** Fidel Echevarría y Alejandro Caballero.

: ***La restauración ecológica de zonas contaminadas por la minería: el ejemplo del corredor verde del Guadiamar.*** María T. Domínguez.

: ***Primera cita del molusco exótico*** **Bursatella leachii** ***de Blainville, 1817 (Mollusca: opistobranchia) en el litoral mediterráneo andaluz.*** Alejandro José Ibáñez-Yuste, Ana Garrido-Díaz, Free Espinosa-Torre y Alejandro Terrón-Sigler.

: ***La hidroacústica horizontal utilizada en la gestión de las comunidades de peces: en busca de la firma acústica de barbos y carpas.*** Rodríguez-Sánchez, V.; Encina, L.; Rodríguez-Ruiz, A.; Sánchez-Carmona, R.; Monteoliva Herreras, A.; Alonso de Santocildes, G. y Monnà Cano, A.

: **"Mare Nostrum plena vitae".** ***Descubriendo en el Mediterráneo nuevos hotpoints de biodiversidad a bordo del Galeón Andalucía.*** Daniel González-Paredes.

: ***Resolviendo una incógnita biogeográfica, el caso de la Rand Flora afro-mediterránea.*** Mario Mairal y Andrea Sánchez-Meseguer.

: ***Crustáceos anfípodos: una alternativa al alimento vivo usado tradicionalmente en acuicultura.*** Elena Baeza-Rojano Pageo.

: ***Cría en cautividad y reforzamiento de Águila-azor perdicera (*****Aquila fasciata*****) en la Comunidad de Madrid.*** Juan José Iglesias Lebrija, Pablo Izquierdo y Ernesto Álvarez.

: ***Programa Andarríos: la sociedad implicada en la investigación y la conservación de los ecosistemas acuáticos andaluces.*** Alfonso Rodríguez de Austria Giménez de Aragón.

: ***Detección de oportunidades de negocio vinculadas al sector ambiental en áreas rurales.*** Gonzalo González Álvarez y Miguel Martín Álvarez.

Colaboran en este número:

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGIA DE SEVILLA (IRNAS)

AGENCIA DE GESTIÓN AGRARIA Y PESQUERA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE

ASOCIACIÓN HOMBRE Y TERRITORIO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ECOHYDROS S.L.

FUNDACIÓN NAO VICTORIA

REAL JARDÍN BOTÁNICO del CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)

GRUPO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA FAUNA AUTÓCTONA Y SU HÁBITAT (GREFA)

ECOTONO SCA

FUNDACIÓN FÉLIX RODRÍGUEZ DE LA FUENTE (FFRF)

Chronica naturae, 2 (2012). ISSN: 2253-6280.

julio 2012. Sevilla.

contacto@chronicanaturae.org

Chronica naturae es una publicación coordinada, editada y difundida por la Asociación Hombre y Territorio (HyT).

www.hombreyterritorio.org // +34 955 324 985 . 637 524 856 . 645 387 526

Índice.

Editorial :5

: Chronica naturae, *un proyecto en crecimiento.*
Comité editorial de *Chronica naturae.*

El investigador invitado :6/14

: La gestión de proyectos de investigación marina en España durante el VI Plan Nacional de I+D+i (2008-2011).
Fidel Echevarría y Alejandro Caballero. *Subprograma de Ciencia y Tecnología Marina. Subdirección General de Proyectos de Investigación. Ministerio de Economía y Competitividad / Departamento de Biología. Universidad de Cádiz.*

Artículos :15/24

: La restauración ecológica de zonas contaminadas por la minería: el ejemplo del corredor verde del Guadiamar.
María T. Domínguez. *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.*

Artículos :25/31

: Primera cita del molusco exótico* Bursatella leachii *de Blainville, 1817 (Mollusca: opistobranchia) en el litoral mediterráneo andaluz.
Alejandro José Ibáñez-Yuste, Ana Garrido-Díaz, Free Espinosa-Torre y Alejandro Terrón-Sigler. *Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía / Asociación Hombre y Territorio / Laboratorio de Biología Marina. Universidad de Sevilla.*

Artículos :32/40

: La hidroacústica horizontal utilizada en la gestión de las comunidades de peces: en busca de la firma acústica de barbos y carpas.
Rodríguez-Sánchez, V.; Encina, L.; Rodríguez-Ruiz, A.; Sánchez-Carmona, R.; Monteoliva Herreras, A.; Alonso de Santocildes, G. y Monnà Cano, A. *Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla / Ecohydros S.L.*

Artículos :41/52

: "Mare Nostrum plena vitae"*. Descubriendo en el Mediterráneo nuevos hotpoints de biodiversidad a bordo del Galeón Andalucía.*
Daniel González-Paredes. *Fundación Nao Victoria / Asociación Hombre y Territorio.*

Proyectos de investigación-conservación :53/63

: Resolviendo una incógnita biogeográfica, el caso de la Rand Flora afro-mediterránea.
Mario Mairal y Andrea Sánchez-Meseguer. *Real Jardín Botánico-CSIC.*

Proyectos de investigación-conservación :64/72

: Crustáceos anfípodos: una alternativa al alimento vivo usado tradicionalmente en acuicultura.
Elena Baeza-Rojano Pageo. *Laboratorio de Biología Marina. Universidad de Sevilla.*

Proyectos de investigación-conservación :73/82

: Cría en cautividad y reforzamiento de Águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) en la Comunidad de Madrid.
Juan José Iglesias Lebrija, Pablo Izquierdo y Ernesto Álvarez. *GREFA - Grupo para la Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat.*

Índice.

Proyectos de investigación-conservación :83/92

: Programa Andarríos: la sociedad implicada en la investigación y la conservación de los ecosistemas acuáticos andaluces.
Alfonso Rodríguez de Austria Giménez de Aragón. *Ecotono SCA.*

Proyectos de investigación-conservación :93/101

: Detección de oportunidades de negocio vinculadas al sector ambiental en áreas rurales.
Gonzalo González Álvarez y Miguel Martín Álvarez. *FFRF - Fundación Félix Rodríguez de la Fuente.*

Editorial

Chronica naturae, un proyecto en crecimiento.

Aunque quizás el título del artículo de la sección el investigador invitado en el número anterior, *"Crear una revista es fácil. Mantenerla y prestigiarla ya no lo es tanto. El ejemplo de Limnetica"*, podría, digámoslo así, menospreciar el esfuerzo que supone generar y comenzar el proyecto de una revista, acierta definitivamente en su segunda apreciación, acerca de la dificultad de mantenerla en el tiempo y no digamos, el darle prestigio.

Cabría decir, aunque también pudiera ser aventurado, que la publicación *Chronica naturae* haya superado los dos primeros escollos de su carrera; nació con el primer número el año pasado, con una aceptación más que notable y lanza ahora el segundo, que esperemos sea de mayor impacto en los sectores a los que está dirigido. Decimos aventurado, pues nadie asegura, y menos en estos tiempos que nos amparan, el que nada sea permanente. Pero desde el Comité Editorial, estamos seguros de que su continuidad está prácticamente garantizada. Así podemos decir que hemos conseguido estos dos primeros propósitos de los que hablaba nuestra investigadora invitada, Julia Toja Santillana.

En cuanto a prestigiar esta revista, tenemos como principales objetivos alcanzar activamente a distintos sectores y ampliar el Comité Revisor haciéndolo más diverso y de calidad, por supuesto sin desdeñar el esfuerzo de los investigadores que ya han prestado su ayuda. Respecto a este Comité, y buscando una vía diferente a la de muchas revistas científicas en la búsqueda de revisores, invitamos desde aquí a investigadores que quieran prestar su ayuda, que contacten con nosotros haciendo de esta revista un proyecto global y alimentado con el esfuerzo de muchos.

En cuanto a su difusión, no tenemos datos objetivos que nos permitan discutir sobre el éxito alcanzado entre los distintos colectivos a los que va dirigida, pasando desde el público general hasta los ámbitos científicos. Aún así, por los datos indirectos que hemos podido recabar, quizás hay que mejorar la difusión de la revista en algunos aspectos, pues nos consta la aceptación que el proyecto ha tenido en el mundo científico, pero nos falta confirmar o hacer realidad la consulta activa de la revista por parte del público general y otros ámbitos. Por supuesto, el tiempo es el que le dará la difusión que creemos necesaria para hacer de este proyecto un referente en la conservación y difusión de la ciencia en España. No obstante, somos realistas y tendremos todavía que esperar unos números más para poder llegar a dónde queremos.

El primer paso que hemos planteado para mejorar nuestra difusión es la presentación pública de la revista, en un ámbito de divulgación científica como es la Casa de la Ciencia en Sevilla, que acompañará el lanzamiento de este segundo número y que hemos esperado a celebrar hasta tener alcanzada la meta de haber hecho de este proyecto una realidad permanente.

Por supuesto, y dejamos estas líneas para el final de este escrito, hemos de puntualizar que estos dos primeros números no habrían sido posible sin el apoyo que hemos recibido por parte de los autores, compañeros del mundo de la investigación y la conservación, a los que en muchos casos nos une algún vínculo profesional y personal. Desde aquí os queremos dar las gracias a todos: Julia, María, Enrique, Alexis, Free, José, Amparo, Miguel, Fidel, Maite, Alejandro, Ana, Vicky, Daniel, Mario, Andrea, Elena, Juanjo, Alfonso, Miguel y todos aquellos que habéis colaborado de una forma y otra en la elaboración de estos manuscritos y los estudios que los sustentan. Y gracias a Inma y Nacho, pues tampoco nos olvidamos del esfuerzo del equipo de maquetación de elchinoviene, por su paciencia y profesionalidad.

Esperamos que los artículos que figuran en este segundo número os hagan disfrutar de su lectura y contenidos y que los números venideros hagan de este proyecto a vuestros ojos algo tan atractivo como lo es para los miembros de esta Asociación.

Un saludo.

Comité editorial de *Chronica naturae*. julio de 2012.

El investigador invitado

La gestión de proyectos de investigación marina en España durante el VI Plan Nacional de I+D+i (2008-2011).

Fidel Echevarría[1,3,4] y Alejandro Caballero[2,3,5]

[1] Gestor del Subprograma de Ciencia y Tecnología Marina. Subdirección General de Proyectos de Investigación. Ministerio de Economía y Competitividad.

[2] Técnico contratado del Subprograma de Ciencia y Tecnología Marina. Subdirección General de Proyectos de Investigación. Ministerio de Economía y Competitividad.

[3] Departamento de Biología. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.

[4] fidel.echevarria@uca.es

[5] alejandro.caballero@uca.es

Con casi 8.000 Km de costa, la historia, la cultura, las tradiciones e incluso la economía de nuestro país han estado siempre muy vinculadas al mar. Por ello, no es extraño que las Ciencias y Tecnologías marinas representen en España un área temática de investigación en la que los indicadores muestran un nivel de actividad y de excelencia por encima de la media. Disponemos de investigadores marinos que destacan en el panorama nacional por su buen hacer y que presentan un alto impacto científico a escala internacional (Duarte, 2006; Morales-Nin y Ramos, 2009).

En la actualidad nos enfrentamos a numerosos desafíos que obligan a invertir en el estudio del océano; necesitamos por ejemplo estudiar el papel del océano en la regulación del clima, conocer mejor e intentar regular de forma sostenible los stocks pesqueros, explorar la biodiversidad marina, plantear una gestión sostenible de la zona costera o aprovechar la energía que contiene el océano. Todos estos desafíos requieren una gestión eficiente, de modo que los recursos disponibles se dediquen a los proyectos de mayor interés y calidad científica.

La investigación marina precisa en muchos casos elementos que la hacen más compleja; por ejemplo la necesidad de un enfoque interdisciplinar para entender algunos de los procesos importantes en el océano, o la necesidad en muchos casos de infraestructuras costosas como son los buques oceanográficos, robots submarinos o vehículos no tripulados. Estas singularidades complican la gestión de este área de investigación.

Aunque en España se realiza investigación marina financiada desde distintas entidades (Europa, entidades regionales o iniciativas privadas a través de fundaciones o empresas), es el nivel de financiación estatal el que representa un mayor volumen de gasto y el que soporta los proyectos de mayor prestigio. Este nivel de financiación nacional es al que nos referiremos en este artículo, repasando los procedimientos para solicitar proyectos al Ministerio y los resultados de la gestión realizada en los últimos 4 años. El eje de esta presentación será el programa de gestión de Ciencia y Tecnología Marina (programa MAR), que se gestiona desde la Subdirección General de Proyectos de Investigación del Ministerio de Economía y Competitividad.

El investigador invitado

EL SUBPROGRAMA MAR EN LA ESTRUCTURA DEL MINISTERIO

El subprograma MAR (Ciencia y Tecnología Marina) ha sido, desde su aparición en 1995, el principal instrumento activador de la investigación marina en España. Se incorpora como programa temático al III Plan Nacional de Investigación que se desarrolló entre 1996 y 1999, y desde entonces se ha mantenido en la estructura del sistema nacional de I+D+i. Durante este periodo ha habido 3 Planes Nacionales, el último de los cuales se ha desarrollado en el cuatrienio 2008-2011 (VI Plan Nacional de I+D+i, que por cierto ha sido prorrogado en 2012). Desde el subprograma MAR se gestionan proyectos de investigación fundamental no orientada, y en principio cualquier investigación de ámbito marino que cumpla con los criterios de calidad y excelencia científica exigidos, tiene cabida en este subprograma.

El subprograma MAR, al igual que el resto de los programas de investigación del Ministerio, incluye una convocatoria básica de carácter anual. La secuencia administrativa de solicitud y evaluación suele ser similar todos los años y aproximadamente incluye: (1) la publicación de la convocatoria en BOE en Diciembre, (2) la presentación de propuestas por parte de los investigadores en Enero-Febrero y (3) la evaluación de la convocatoria hasta Mayo-Junio. Con posterioridad se emiten las resoluciones provisionales que suelen llegar a los investigadores en Junio-Julio, abriéndose después un periodo de alegaciones. Las alegaciones se suelen resolver hacia Septiembre-Octubre, emitiéndose entonces las resoluciones definitivas. El proceso completo consume prácticamente un año, de modo que inmediatamente después de publicar las resoluciones definitivas, desde el Ministerio se inicia la redacción y posterior publicación de la nueva convocatoria.

A este programa básico de carácter permanente se añaden algunas convocatorias extraordinarias que surgen de la mano de algún evento excepcional. Las dos últimas convocatorias extraordinarias que hemos tenido en España para proyectos de ámbito marino han sido: (1) La abierta en 2007-08, para proyectos de investigación polar coincidiendo con la conmemoración del Año Polar Internacional (2) La de 2003-04 (VEM -Vertidos marinos accidentales-), que fue consecuencia del accidente y posterior derrame de crudo desde el buque Prestige frente a las costas de Galicia. La participación de investigadores en estos proyectos de convocatorias extraordinarias es abierta y no se computa en términos de EDP (equivalentes a dedicación plena); sin embargo en la convocatoria básica la participación de cada investigador está limitada a un máximo de 2 proyectos, por lo que se puede participar en un proyecto a dedicación completa (1 EDP), o en dos con dedicación compartida (0,5 EDP). En general se recomienda la participación a tiempo completo en el caso de los Investigadores Principales, si bien esta recomendación se convierte en obligatoria en el caso de proyectos de eje A, que son aquellos liderados por investigadores jóvenes que solicitan proyectos por primera vez.

Aunque son la mayoría, no todos los proyectos de investigación relacionados con el medio marino se gestionan desde el programa MAR. También se gestiona investigación marina desde otros programas como BOS (Biodiversidad), BTE (Ciencias de la Tierra), ANT (Investigación Polar) ó ACU (Acuicultura). Excepto este último programa ACU, que depende del Departamento de Ciencias de la Vida y Agroalimentación, el resto de programas de investigación marina, incluido MAR, dependen del Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales, uno de los 4 departamentos en que se articula la Subdirección General de Proyectos de Investigación (SGPI).

En los últimos años ha habido otras convocatorias que financiaban investigación marina desde el Ministerio. De entre ellas cabe destacar la iniciativa Ingenio-2010, y en particular el programa CONSOLIDER, nacido con el fin de aumentar la masa crítica y la excelencia científica a través de proyectos en los que se valoraba la interdisciplinariedad y la existencia de objetivos en la frontera del conocimiento, con investigadores de nivel científico muy

alto. De los 77 proyectos Consolider financiados por el Ministerio en el periodo 2006-2010, el único con una clara vocación marina ha sido (y está siendo) el proyecto MALASPINA (Expedición de circunnavegación Malaspina 2010: cambio global y exploración de la biodiversidad en el océano). Este proyecto está liderado por el Profesor Carlos M. Duarte, del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA, en Mallorca) y en esta iniciativa se han implicado 16 instituciones españolas, 30 centros de investigación, y más de 400 investigadores. El proyecto Malaspina ha permitido la realización de una campaña de circunnavegación a bordo del buque Hespérides, con una segunda campaña transatlántica a bordo del buque Sarmiento de Gamboa. Se trata, sin duda, de la iniciativa de investigación marina de mayor magnitud y alcance de las financiadas por el Ministerio.

PROTAGONISTAS DE LA INVESTIGACIÓN MARINA EN ESPAÑA

Los proyectos financiados por el subprograma MAR se desarrollan en centros de investigación que pertenecen fundamentalmente a alguna de estas 3 instituciones: Las Universidades, el Consejo Superior de Investigaciones Científica (CSIC) o el Instituto Español de Oceanografía (IEO). A estas tres instituciones pertenecen más del 90% de los investigadores que consiguen proyectos del Plan Nacional, aunque hay otras instituciones de carácter estatal como Puertos del Estado o el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), de carácter regional como AZTI o CESGA, así como institutos de la Armada como el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y el Real Observatorio de la Armada (ROA). En la figura 1 aparecen localizados los centros de investigación a los que pertenecen los investigadores principales de los proyectos MAR concedidos durante el VI Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.

Figura 1. Centros de investigación desde los que se han realizado proyectos del subprograma MAR del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.

Temáticamente los proyectos financiados en el programa MAR son muy heterogéneos, de forma que en el programa tienen cabida proyectos diversos relacionados por ejemplo con la estructura del ecosistema (pelágico ó bentónico), pesquerías, acuicultura,

contaminación, oceanografía física, geología marina, genética y biología molecular, tecnología marina, etc. Aproximadamente la tercera parte de los proyectos financiados por el programa MAR implica la utilización de buques oceanográficos, una infraestructura costosa pero imprescindible para resolver los objetivos de estos proyectos.

LA FLOTA OCEANOGRÁFICA Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS SINGULARES

Los buques oceanográficos constituyen una herramienta fundamental en la investigación de los océanos y sus recursos, y suponen una singularidad que caracteriza al programa MAR frente a otros programas de gestión de la Ciencia en el Ministerio. La asignación de campañas, su equipamiento y su apoyo, representa una tarea compleja que exige un alto grado de coordinación de todos los agentes implicados. Para ello, se crea en 2003 la **Comisión para la Coordinación y Seguimiento de la Actividad de los Buques Oceanográficos** (COCSABO), como órgano colegiado de propuesta y coordinación de las actuaciones de carácter científico o técnico realizadas en los buques oceanográficos. En la página web de COCSABO se pueden ver los calendarios aprobados para los distintos buques gestionados por esta Comisión y que se relacionan en la tabla 1. El coste de estos barcos es muy alto, algunos precios diarios de estas infraestructuras incluyen los 13.000 € diarios que cuesta el Cornide de Saavedra, los 25.000 € diarios del Sarmiento de Gamboa o los 6.000 €/día que cuesta el García del Cid.

Tabla 1. Relación de buques oceanográficos gestionados por COCSABO.

BUQUE	ORGANISMO	ESLORA	TRIPULACIÓN	CIENTÍFICOS
Hespérides	CSIC/Armada	82	58	29
Sarmiento de Gamboa	CSIC	70	16	25
Cornide de Saavedra	IEO	66	27	31
Ramón Margalef	IEO	46	12	11
Ángeles Alvariño	IEO	46	12	11
García del Cid	CSIC	32	14	12
Francisco de Paula Navarro	IEO	30	10	7
Mytilus	CSIC	24	6	10
Odón de Buen	IEO	22	6	6

Además de estos, existen otros buques oceanográficos que no son gestionados por la COCSABO, ya sea por su menor tamaño y ámbito local, o por los organismos que los gestionan, como son:

» IEO: José María Navaz, Lura, José Rioja, Thalassa (En colaboración con IFREMER).

» Armada: Las Palmas (En colaboración con el CSIC).

» Instituto Hidrográfico de la Marina: Malaspina, Tofiño, Antares, Rigel.

» Secretaría General de Pesca: Vizconde de Eza, Emma Bardán, Miguel Oliver.

El investigador invitado

Los tres buques oceanográficos de mayor tamaño (Hespérides, Sarmiento de Gamboa y Cornide de Saavedra; fotos 1 a 3) son considerados Infraestructuras Científico-Tecnicas Singulares (ICTS). Las ICTS son infraestructuras de gran tamaño, abiertas al uso por parte de la comunidad investigadora nacional. Entre ellas se incluyen por ejemplo super-computadores ó grandes telescopios, y en el ámbito marino tenemos algunas ICTS, además de los buques, que merece la pena destacar:

» La Base Antártica Rey Juan Carlos.

» La Base Antártica Gabriel de Castilla.

» La Plataforma Oceanográfica de Canarias (PLOCAN).

» El Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB).

Foto 1. B.I.O. Hespérides. *Fuente*: MINECO.

Foto 2. B/O Sarmiento de Gamboa. *Foto*: JOAN COSTA/ CSIC.

El investigador invitado

Foto 3. B/O Cornide de Saavedra.
Fuente: MINECO.

Finalmente se han aprobado también ICTS relacionadas con el medio marino en Asturias (MAREAS), en Murcia (OOCMUR) y en Galicia (UTO). Todas las ICTS marinas están vinculadas en una Red liderada por el IEO y a la que se puede acceder en la siguiente dirección web http://www.redictsmarinas.ieo.es.

EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE PROPUESTAS Y EL SEGUIMIENTO DE PROYECTOS

Las propuestas de proyecto que llegan cada año al subprograma MAR se someten a una doble evaluación. Por una parte se evalúan desde la Agencia Nacional de Evaluación y prospectiva (ANEP) y además se someten a una evaluación desde la Subdirección general de Proyectos de Investigación (SGPI). La ANEP envía cada una de las propuestas a un mínimo de 2 investigadores de prestigio con experiencia demostrada en el tema del que se trate. En muchos casos, y especialmente cuando hay diversidad de criterios en las dos evaluaciones, el proyecto se envía a un tercer evaluador. Las áreas de ANEP en las que encajan la mayoría de los proyectos marinos son "Biología Vegetal, Animal y Ecología" y el área de "Ciencias de la Tierra", dos áreas cuyos coordinadores son actualmente los profesores Javier Romero (Universidad de Barcelona) y Jesús García Lafuente (Universidad de Málaga), respectivamente.

Desde la SGPI se realiza una evaluación paralela a la anterior. En este caso, se nombra cada año a un comité de expertos (cuyo número ha oscilado en estos 4 años entre 12 y 16), que evalúan la totalidad de proyectos de la convocatoria, de forma que cada proyecto lo analizan al menos dos de estos expertos. Esta evaluación individual de cada proyecto se completa con una reunión plenaria de la comisión de expertos a la que se invita además a los coordinadores de ANEP. En esta comisión se discute cada proyecto, y partiendo de las calificaciones individuales se realiza una propuesta consensuada de nota final. Además se analiza en cada caso la posible asignación de becas y, en su caso, la asignación de buques oceanográficos.

Los elementos que se tienen en cuenta en este proceso de evaluación son fundamentalmente los siguientes:

» Aspectos relacionados con el grupo de trabajo. En este apartado se valora la adecuación del tamaño, composición y dedicación del equipo investigador, así como los resultados previos del equipo y la internacionalización de la actividad investigadora.

» Aspectos relativos al desarrollo científico-técnico del proyecto, en particular la relevancia científica del proyecto y los beneficios esperados de su ejecución.

» También se valora la adecuación y justificación del presupuesto solicitado.

El peso relativo de estos apartados de la evaluación depende de la modalidad del proyecto: en los proyectos de tipo A (jóvenes investigadores) se da más importancia a los aspectos relativos al proyecto en sí, en detrimento de los aspectos relativos al grupo de trabajo, dado que se presupone una menor experiencia en estos equipos jóvenes comparados con proyectos de tipo B (investigadores sénior). Desde hace años, el Ministerio plantea una apuesta clara por el fomento de proyectos de tipo A, con el ánimo de aumentar la masa crítica y el número de usuarios del sistema.

Una vez concedidos los proyectos de investigación, se inicia un proceso de seguimiento de su ejecución. Cada año los investigadores han de hacer un informe en el que deben resumir los logros conseguidos y comparar la ejecución real del proyecto con lo que se había comprometido. Esta labor de seguimiento se completa con una presentación pública de los resultados de cada proyecto que se viene realizando desde 2008 durante el último año de ejecución, aproximadamente en los meses de Marzo-Abril. En estas sesiones se cuenta también con la participación de expertos y con los coordinadores de ANEP para una correcta evaluación del desarrollo y ejecución de cada proyecto.

ANÁLISIS DEL ÚLTIMO PLAN NACIONAL

En la tabla 2 se muestra un resumen de la evolución de diferentes indicadores a lo largo del período de este último Plan Nacional 2008-2011. Durante este período se solicitaron un total de 249 propuestas de proyecto, siendo aprobados y financiados 154. A lo largo de estos 4 años ha habido una disminución en el porcentaje de proyectos aprobados, que ha pasado de más de un 70% en 2008 a valores en torno al 55% en estos dos últimos años.

Tabla 2. Evolución de diferentes indicadores del Subprograma de Ciencia y Tecnología Marina (MAR) durante el VI Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.

INDICADORES	2008	2009	2010	2011	PROMEDIO	TOTAL
Solicitudes	52	72	58	67	62	249
Propuestas aprobadas	37	47	32	38	38	154
% aprobado	71	65	55	56	62	-
Costes directos (M€)	4.38	5.34	4.02	4.51	4.56	18.25
Coste medio proyecto (€)	118.000	113.000	125.000	128.000	121.000	-
% IP mujer	29	24	38	26	29	-
% eje A	11	24	14	34	21	-
% proyectos con becario	46	51	44	49	47	-
% proyectos con buque	47	26	25	30	32	-

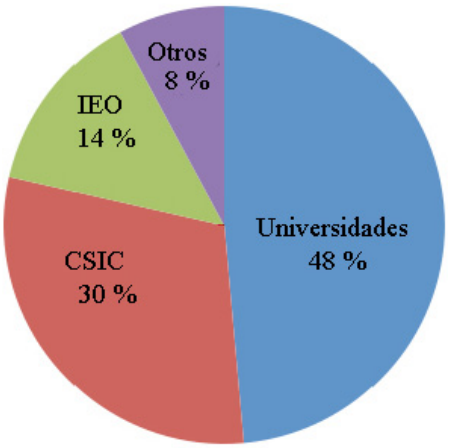
El investigador invitado

El importe financiado en términos de coste directo ha sido de unos 4 millones y medio de euros por año. A esta cantidad hay que sumar los costes indirectos, que en la mayor parte de las instituciones receptoras de estas ayudas representan un 21% del total financiado. Los costes directos destinados a cada proyecto están en torno a 120.000 €, detectándose un ligero incremento desde los 118.000 € que en promedio recibieron los proyectos aprobados en 2008 hasta los 128.000 € de 2011.

En cuanto a género, aproximadamente la tercera parte de los proyectos del programa MAR han estado dirigidos por mujeres en estos 4 años, y aproximadamente el 20% de los proyectos aprobados han sido proyectos de eje A, dirigidos por jóvenes investigadores. Cerca de la mitad de los proyectos han tenido becario de investigación FPI, y aproximadamente el 30% de los proyectos aprobados implican la utilización de buque oceanográfico (Por cierto, los costes de uso de los buques no están computados en la tabla 2).

Teniendo en cuenta la Institución a la que pertenece el Investigador Principal, la mitad de los proyectos aprobados corresponden a las universidades, seguidos en importancia relativa del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (30%), y d el Instituto Español de Oceanografía (14%). Otras entidades como AZTI, IGME, Puertos del Estado, etc. soportan el 8% de proyectos restante (figura 2a).

El reparto por Comunidad Autónoma de procedencia del Investigador Principal ofrece los resultados que se observan en la figura 2b, en la que se aprecia como Cataluña es la que obtuvo un mayor número de proyectos, llegando a un tercio del total, seguida de Andalucía y Galicia.



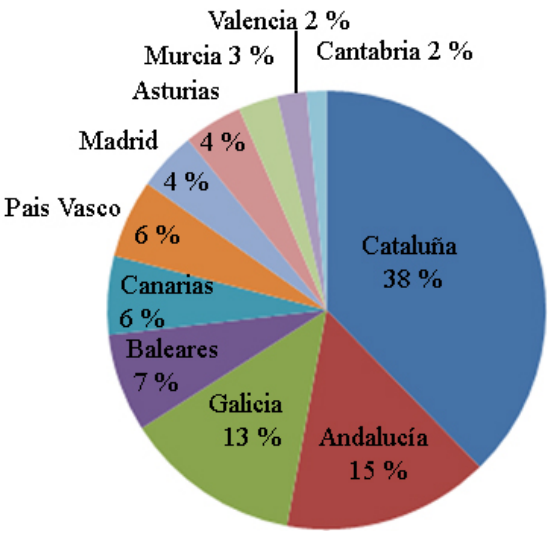


Figura 2. (a) Reparto institucional de los proyectos concedidos en el subprograma MAR durante el Plan Nacional de I+D+I 2008-2011. (b) Reparto por comunidad autónoma a la que pertenece la institución del Investigador Principal de los proyectos concedidos en este mismo periodo.

PROSPECTIVA Y CONCLUSIONES

El VI Plan Nacional debía haber finalizado en 2011, y se ha prorrogado un año más como consecuencia de la aprobación a mediados de 2011 de la llamada Ley de la Ciencia, una ley que introduce importantes novedades de cara al futuro y que debe implementarse a lo largo de este año 2012. Probablemente la principal novedad sea la creación de la nueva Agencia Estatal de Investigación, una nueva estructura de gobernanza del sistema de Ciencia y Tecnología que se pretende que permita una mayor agilidad en la gestión.

Esta novedad, unida al clima de incertidumbre que viene de la mano de la crisis económica y financiera que comenzó precisamente en 2008, deja algunas dudas respecto de las posibilidades de financiación de la Ciencia y Tecnología Marina en el futuro inmediato. En todo caso, esta área temática ha demostrado en los últimos 25 años una buena salud, con investigadores de enorme prestigio internacional y una capacidad elevada de usar eficientemente los recursos recibidos. De cara a los próximos años es muy probable que, a pesar de las dificultades económicas que seguramente nos obligarán a trabajar con menos recursos públicos, se siga haciendo Ciencia marina de máximo nivel en España.

BIBLIOGRAFÍA

– DUARTE, C.M., 2006. Las Ciencias y Tecnologías Marinas en España. Informes CSIC. Consejo Superior Investigaciones Científicas.

– MORALES-NIN, B. & S. RAMOS, 2009. Target objectives in Spanish marine science within the European context (2003-2007). *Scientia Marina* 73(1): 199-204.

Artículos

La restauración ecológica de zonas contaminadas por la minería: el ejemplo del corredor verde del Guadiamar.

María T. Domínguez

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Av. Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla.

maited@irnase.csic.es

RESUMEN

Recientemente se cumplió el 14º aniversario del accidente de la mina de Aznacóllar (Sevilla), uno de los principales desastres ambientales ocurridos en España en las últimas décadas. Durante la última década hemos analizado algunos de los procesos clave para la restauración ecológica de la zona, como la evolución de la contaminación en el suelo, la dinámica de los contaminantes en el sistema suelo-planta-herbívoro y el éxito de las repoblaciones forestales realizadas en la zona tras el accidente. Estos estudios indican que los suelos de la zona afectada, hoy conocida como Corredor Verde del Guadiamar, siguen presentando altas concentraciones de elementos traza (metales pesados y otros elementos potencialmente tóxicos, como el arsénico) procedentes del vertido, si bien éstos se encuentran bastante inmovilizados en el suelo, en condiciones de baja biodisponibilidad. El riesgo de transferencia de estos contaminantes a las plantas reforestadas puede ser bajo si se seleccionan las especies adecuadas, potenciando aquellas que presentan una alta retención de elementos en el sistema radical y evitando las que muestren un alto transporte de contaminantes desde el suelo hasta las hojas (como álamos y sauces). Las especies de matorral deberían potenciarse en el diseño de sucesivas reforestaciones, ya que presentan mayores tasas de supervivencia y crecimiento durante los años posteriores a la plantación y crean una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo más propicia para la colonización de otras especies de plantas.

Palabras clave: restauración ecológica; contaminación; metales pesados; monte mediterráneo; Aznalcóllar, Guadiamar.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de las actividades humanas durante el último siglo está provocando importantes alteraciones en los ciclos naturales de los nutrientes y otros elementos químicos en los ecosistemas. Estas alteraciones constituyen uno de los más importantes componentes del cambio global, y centran una buena parte de la atención de la comunidad científica en la actualidad. La contaminación del aire, el suelo o el agua es uno de los principales factores responsables de estas alteraciones biogeoquímicas, y se ha relacionado con importantes problemas ambientales de las últimas décadas, como el decaimiento forestal y la pérdida de biodiversidad.

Los elementos traza (metales pesados y algunos metaloides, como el arsénico) constituyen un importante grupo de contaminantes. Estos elementos son constituyentes minoritarios

de los seres vivos, y en condiciones normales sus concentraciones son relativamente bajas; por ejemplo, en las plantas sus concentraciones son inferiores a 1 g kg^{-1} (Bargagli, 1998). Sin embargo, distintas actividades humanas han alterado los ciclos biogeoquímicos de estos elementos, de manera que las entradas de elementos traza (ET) a los ecosistemas a través de la atmósfera, el agua o el suelo han aumentado sustancialmente a escala global durante el último siglo (Nriagu, 1996).

Actividades como la industria, la agricultura, el transporte o el tratamiento de residuos urbanos son fuentes de contaminación por ET. Sin embargo, la minería es la responsable en mayor medida de la movilización de los ET de la litosfera, hacia condiciones de mayor disponibilidad para los seres vivos. Por ejemplo, hacia el año 2000, las estimas de producción anual de residuos contaminados con ET derivados de la minería oscilaban entre las 10.000 y las 600.000 toneladas a nivel mundial (Warhurst y Noronha, 2000). El alcance económico de estas cifras es bastante elevado, ya que el coste de la recuperación de suelos contaminados se sitúa entre los 101.000 y los 1.25 10^6 € ha^{-1} (Berti y Cunningham, 2000). En España, zonas como las cuencas de los ríos Tinto y Odiel, en Huelva, el distrito minero de Cartagena-La Unión y Mar Menor, en Murcia, o la cuenca del río Guadiamar en Sevilla tienen suelos muy enriquecidos en ET, como consecuencia de la actividad minera.

La reforestación de estas zonas degradadas por la minería es particularmente importante en la cuenca mediterránea, ya que los distintos escenarios de cambio global prevén un aumento de los riesgos de erosión y desertificación (Moreno, 2005), lo cual aumentaría la probabilidad de exportar la contaminación a zonas colindantes, mediante escorrentía superficial y transporte del suelo contaminado. Sin embargo, la presencia de la contaminación por elementos traza puede ser un factor añadido a la dificultad de reforestar estas áreas, ya que éstos pueden influir en múltiples procesos importantes para la reforestación, por ejemplo, dificultar el establecimiento de la raíz y crecimiento de las plantas, o interferir en el ciclado de nutrientes y provocar la acumulación de los contaminantes en distintos componentes de la cadena alimenticia del ecosistema.

El accidente minero de Aznalcóllar (Sevilla) de 1998 es un ejemplo de la magnitud y el alcance económico y ecológico de la gestión de los residuos derivados de la minería. Considerado como uno de los mayores desastres ambientales en Europa en las últimas décadas, supuso un reto de gestión ambiental a nivel regional y nacional. Recientemente (abril 2012) se cumplió el 14º aniversario del accidente, que produjo el vertido de lodos y aguas ácidas de la balsa de decantación de la mina, afectando a unos 55 km^2 de la cuenca del río Guadiamar. La necesidad de intervenir para frenar el avance de tal cantidad de lodo contaminado hacia el Espacio Natural de Doñana, y de estabilizar la contaminación de los suelos requirió un amplio despliegue técnico y económico (más detalles en Arenas *et al*., 2008). Durante los años posteriores se llevó a cabo un proyecto de restauración a gran escala (el proyecto del Corredor Verde del Guadiamar), que incluyó la adquisición de los terrenos afectados por la Junta de Andalucía, la remediación de la contaminación (mediante retirada de la capa superficial del suelo, más afectada por la presencia de lodos, y adición de enmiendas) y la revegetación de los terrenos con diferentes especies leñosas mediterráneas. Desde los momentos posteriores al accidente, investigadores del Instituto de Recurso Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC) hemos venido realizando distintos trabajos en la zona, en los que hemos analizado algunos de los procesos clave para la restauración ecológica de la zona, como: 1) la evolución de la contaminación en el suelo y la dinámica de los elementos traza en el sistema suelo-planta, 2) el posible riesgo de transferencia de los elementos traza a los herbívoros, mediante pastoreo y 3) las tasas de supervivencia y crecimiento de los especies reforestadas, así como las posibles técnicas de facilitación del establecimiento de la vegetación leñosa. En este trabajo presentamos un resumen de los resultados obtenidos, y extraemos algunas conclusiones útiles para la gestión y restauración ecológica de las zonas afectadas por la minería.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Guadiamar, último afluente del río Guadalquivir y corredor natural que une Sierra Morena con el Espacio Natural de Doñana (Fig. 1), presenta un clima mediterráneo semiárido, con inviernos suaves y veranos cálidos y secos (precipitación anual media de 484 mm y evapotranspiración potencial de 1.139 mm). Nuestros estudios se centraron en las zonas de la cuenca que fueron reforestadas durante los años 1999 y 2000, tras el accidente minero y una vez completada la adición de enmiendas a los suelos. En los marcos de plantación diseñados, la encina (*Quercus ilex subp. ballota*), el acebuche (*Olea europaea var. sylvestris*) y el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) fueron las especies más abundantes en las zonas más alejadas del río, mientras el álamo blanco (*Populus alba*), el sauce (*Salix atrocinerea*) y el fresno (*Fraxinus angustifolia*) dominaron en las riberas del Guadiamar.

Figura 1. Situación del Corredor Verde del Guadiamar, en el contexto de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA).

Para el estudio de los flujos de elementos traza en el sistema suelo-planta, realizamos distintos muestreos extensivos a lo largo de la cuenca (incluyendo tanto zonas contaminadas como zonas no afectadas por el vertido) entre 2003 y 2005. Se muestrearon hojas de las especies leñosas más abundantes en la zona y de los correspondientes suelos donde crecían los individuos, para el análisis de los principales elementos traza del vertido (arsénico, cadmio, cobre, plomo, talio y cinc). Asimismo se analizaron las concentraciones de elementos traza en los suelos y una serie de propiedades del suelo (pH, contenido en materia orgánica y nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, textura) que pueden afectar a la disponibilidad de los contaminantes para las plantas. En el invernadero, se desarrollaron ensayos en los que se testó la capacidad de dos de las especies más empleadas en la reforestación (encina y lentisco, *Pistacia lentiscus*) para tolerar y retener en el sistema radical altas concentraciones de dos elementos con una alta toxicidad potencial (cadmio y talio).

Para evaluar el posible riesgo de ingesta de ET para los herbívoros mediante pastoreo, se seleccionaron ocho puntos de muestreo a lo largo del Corredor Verde del Guadiamar, uno de ellos en una zona no afectada por el vertido. En cada punto se delimitó un área de 0.5 o 1 hectárea donde se recolectó el pasto (10 o 20 muestras por punto), comprendido en un cuadrado de 25 cm de lado, durante la primavera y el otoño de 2007 y 2008. También se analizaron las heces de liebres y caballos que se alimentan en la zona, así como las crines, para detectar posibles niveles elevados de ingesta de estos contaminantes.

El seguimiento de la supervivencia y el crecimiento de los plantones empleados para la reforestación de la zona se realizó en distintos fragmentos a lo largo de diferentes zonas con distintos tipos de vegetación (plantaciones con especies de ribera, especies de monte

mediterráneo y marisma), durante los años 2003, 2004 y 2005 (Fotos 1 y 2). Asimismo, realizamos una serie de plantaciones experimentales de bellotas de encina en distintos micrositios: zonas abiertas (desprovista de protección por el matorral) o zonas protegidas bajo retama (*Retama sphaerocarpa*) o labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), durante el otoño de 2005. Con ello pretendíamos comparar la supervivencia de las plantas siguiendo el método tradicional de siembra (en zonas abiertas, sin ningún tipo de cubierta arbustiva protectora) frente a la técnica alternativa de la siembra bajo matorral, que puede llegar a facilitar el establecimiento de las plántulas mediante el amortiguamiento de las condiciones extremas de radiación y temperatura bajo el matorral, así como mediante el aporte de materia orgánica y nutrientes.

Fotos 1 y 2. Zonas reforestadas dentro del Corredor Verde, empleando distintas mezclas de especies: arriba, reforestación en las terrazas aluviales con especies de monte mediterráneo; abajo, reforestación del bosque de ribera, con predominio de álamo blanco y taraje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nuestros análisis de suelos, realizados entre los años 2005 y 2008, muestran que las concentraciones totales de elementos traza en los suelos de la zona son aun relativamente altas, bastante superiores a los niveles de fondo de la zona. Por ejemplo, en el muestreo de 2005, los niveles medios de arsénico en la zonas afectadas estuvieron en torno a 130 mg kg^{-1}, mientras que la media en los suelos nos contaminados de la cuenca es de 17 mg kg^{-1}. Las concentraciones totales de plomo, cobre y zinc en las zonas afectadas mostraron aumentos similares (Tabla 1). Sin embargo, la concentración total de un elemento en el suelo no siempre representa la cantidad de este elemento que es fácilmente absorbible por los seres vivos; hay multitud de factores edáficos (pH, contenido en materia orgánica, textura del suelo) que determinan que una gran parte de la cantidad total de estos elementos traza se encuentre inmovilizada, en formas poco biodisponibles. Así, las concentraciones disponibles fueron muy bajas: para el cadmio, uno de los elementos potencialmente más tóxicos, sólo el 15% de la cantidad total se presentó en formas biodisponibles, mientras que las fracciones biodisponibles de cinc, cobre y plomo representaron solo un 5.6, 2.6 y 0.0035 % de las cantidades totales, respectivamente (Tabla 1). El nivel de disponibilidad estuvo determinado principalmente por el pH del suelo: en los suelos ácidos, con pH inferior a 4, las cantidades biodisponibles aumentaron exponencialmente. La acidificación del suelo es un problema bastante común en las zonas afectadas por la minería, debido a la oxidación de los sulfuros de la pirita. Debido a la relación entre acidez y biodisponibilidad, es muy importante monitorizar a largo plazo el pH del suelo en las zonas restauradas tras actividades mineras, ya que en los suelos acidificados el riesgo de toxicidad y de deficiencias nutricionales para las plantas es mucho mayor (Domínguez *et al.*, 2010a).

Tabla 1. Niveles medios de contaminación en los suelos del Corredor Verde del Guadiamar, en muestras recogidas hacia 2005, 7 años después del accidente. Se indica el porcentaje de la concentración total que se encuentra en formas biodisponibles (n.a.: no analizado).

	CONCENTRACIONES TOTALES (MG KG^{-1} DE SUELO)		NIVELES DE BIODISPONIBILIDAD (% CONCENTRACIÓN TOTAL)
	SUELOS AFECTADOS	SUELOS NO AFECTADOS	
Arsénico	129	17	n.a.
Cadmio	1.44	0.23	15
Cobre	115	32	5.6
Plomo	210	47	0.003
Talio	1.17	0.29	n.a.
Cinc	457	109	2.6

Las concentraciones en las hojas de las especies leñosas parecen reflejar que, en términos generales, la contaminación del suelo está bastante estabilizada. De manera general, estas concentraciones fueron bajas, dentro de los límites normales para plantas superiores (Fig. 2). La excepción fueron los álamos blancos y sauces, que acumularon cadmio y cinc en sus hojas a niveles que se consideran tóxicos para los herbívoros según algunos autores (Domínguez *et al.*, 2008). La capacidad de acumular cadmio y cinc es una característica de las especies de *Populus* y otras salicáceas. Así, las especies de álamos y sauces son actualmente objeto de múltiples estudios para optimizar su uso en la extracción de cadmio y cinc de los suelos, mediante la acumulación en la biomasa de hojas (técnicas conocidas como de fitoextracción). Sin embargo, este enfoque de fitoextracción no parece adecuado de una zona extensa, como el Corredor Verde del Guadiamar, donde la producción

Artículos

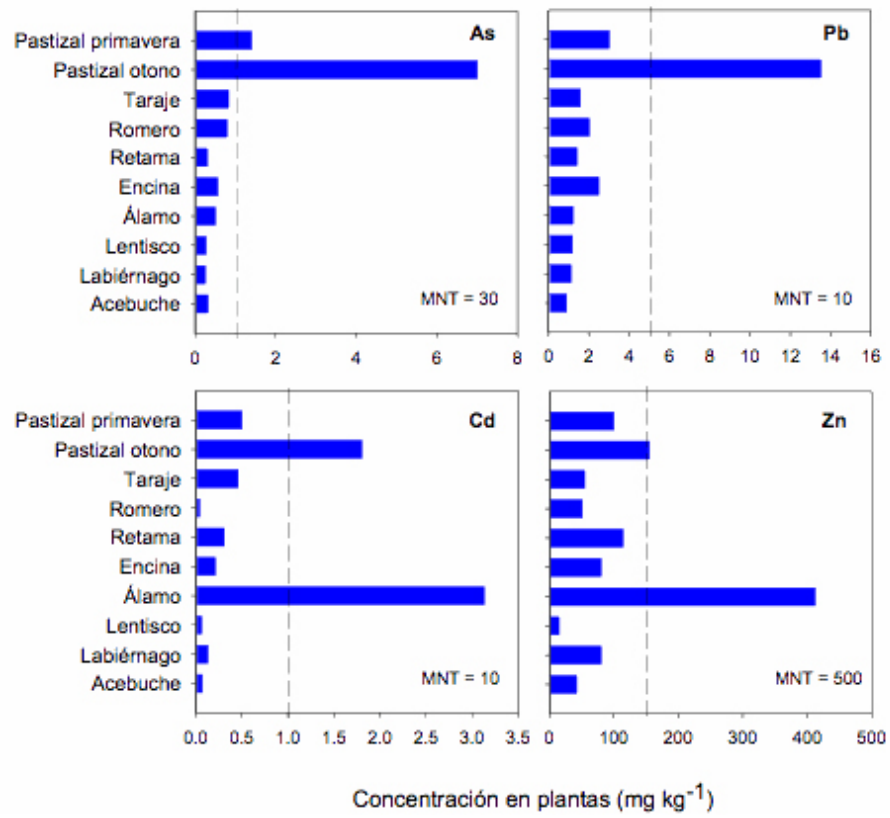


Figura 2. Niveles de elementos traza en distintos tipos de plantas en el Corredor Verde. Para los pastizales, se indican los niveles máximos detectados durante los muestreos de otoño y primavera realizados en los años 2007 y 2008. Para las especies de árboles y arbustos, se indican los valores medios a lo largo del Corredor, en muestreos realizados durante 2005 y 2006. La línea punteada indica el rango de niveles normales en plantas superiores (Chaney, 1989). MNT = máximo nivel tolerable para el ganado equino (NRC, 2005).

de biomasa no se gestiona, de manera que la hojarasca enriquecida en cadmio y cinc procedente de los álamos y sauces se acumula en las capas más superficiales del suelo, donde la liberación de cadmio y cinc durante la descomposición de la hojarasca podría tener un mayor impacto. Por lo tanto, la plantación de estas especies de árboles no estaría recomendada en zonas contaminadas por cadmio y cinc, si el objetivo es estabilizar la contaminación en el suelo. Más bien, deberían potenciarse aquellas especies con una alta capacidad para retener la contaminación en su sistema radical, y unas bajas tasas de transporte a la biomasa aérea. En condiciones controladas de invernadero, comprobamos que la encina presenta un patrón de acumulación de cadmio en sus órganos bastante adecuado para estabilizar la contaminación, es decir, es capaz de tolerar y acumular altas concentraciones de Cd en sus raíces, mientras que el transporte de cadmio hacia las hojas es muy reducido (Domínguez *et al.*, 2011).

Las especies de pastizal pueden mostrar una menor capacidad de retención de los contaminantes en el sistema radical que las especies leñosas, y un mayor transporte a la biomasa aérea, desde donde los ET podrían transferirse a otros niveles de la red trófica mediante herbivoría. La potencial ingesta de ET por los herbívoros en una zona contaminada puede condicionar el manejo de dicha zona, en particular en lo referente al uso ganadero. En el caso del Corredor Verde, desde los primeros momentos posteriores al accidente el pastoreo en este espacio fue restringido, aunque paulatinamente se ha ido introduciendo ganado, sobre todo equino, de manera no controlada. Actualmente, en

la zona se desarrollan amplios pastizales que suponen un alto riesgo de incendio, y su control mecánico es costoso. Estos pastizales compiten con los plantones por el agua y los nutrientes; algunos estudios han demostrado que en plantaciones jóvenes de *Quercus*, la competencia con las herbáceas influye de manera importante en la supervivencia y crecimiento de los plantones (Rey-Benayas *et al.*, 2005). Para evaluar la viabilidad del pastoreo selectivo como medida de control de la los pastizales en el Corredor Verde, estudiamos los patrones de acumulación de ET en los pastizales del Corredor Verde y la ingesta potencial de estos elementos por parte del ganado. La composición florística influyó en las concentraciones de ET del pastizal; pastizales con predominio de gramíneas mostraron menores concentraciones de ET debido a la mayor biomasa de estos pastizales, que produce un efecto de dilución de los ET, y que hace disminuir la cantidad de suelo adherido, bastante contaminado, en el material vegetal. Las ingestas potenciales de contaminantes por parte del ganado fueron diferentes según la estación del año: en otoño el riesgo de ingestión de ET es mayor debido a que en los pastos aun poco desarrollados las concentraciones de ET son mayores, así como la cantidad de suelo adherido (Fig. 2). A pesar de ello, la ingesta potencial de ET por el ganado fue tolerable en términos generales, siendo los ET no esenciales preferentemente excretados. El pastoreo en la zona sería tolerable, si se controlan las situaciones de mayor riesgo de ingesta directa de suelo contaminado por parte del ganado, es decir, en pastizales de otoño poco desarrollados. En cualquier caso, serían necesarios otros estudios para evaluar el posible riesgo de la ingestión crónica de ET.

La competencia con las herbáceas es uno de los factores que condicionan las bajas tasas de supervivencia de los plantones empleados en las reforestaciones de zonas degradadas, aunque la principal causa de mortalidad de los plantones es la sequía estival. En zonas tan degradadas como las afectadas por la minería, las condiciones ambientales pueden ser muy distintas de aquellas en las que tiene lugar la regeneración natural de las especies que se pretende reintroducir en el sistema, y por tanto la colonización y el establecimiento de la cubierta vegetal son especialmente lentos. En el Corredor Verde el éxito de las reforestaciones ha sido irregular, dependiendo de la zona y de la especie utilizada. Durante los cinco primeros años posteriores a las plantaciones en las zonas en las cercanías de la mina, la supervivencia de los plantones de árboles fue muy baja. En estas terrazas aluviales, más alejadas de río y como menor disponibilidad de agua, las especies de árboles han tenido una menor supervivencia en comparación con las especies de matorral. La encina y el algarrobo presentaron las menores tasas de supervivencia, en torno al 20 y el 30 %, respectivamente (Domínguez *et al.*, 2010b). Durante el año 2004, que fue especialmente seco, se produjeron grandes mortandades de estas dos especies. A los 10 años de su plantación, las especies arbustivas son las que presentan mayor porte en las terrazas aluviales, especialmente la retama, el romero, el lentisco y el acebuche. Estos datos parecen indicar que la plantación de especies de árboles de estadíos avanzados en la sucesión ecológica, como la encina, siguiendo el método tradicional de plantación (en línea y sin protección frente a la alta radiación), tiene un éxito reducido en zonas tan degradadas.

En algunos de nuestros experimentos en el Corredor Verde hemos comprobado que las condiciones ambientales bajo especies de matorral como la retama (*Retama sphaerocarpa*) y el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*) son mucho más favorables para el establecimiento de plántulas de encina que en las zonas abiertas, desprovistas de vegetación leñosa, donde la competencia con las herbáceas es mucho mayor. El efecto protector o *facilitador* del matorral consistió principalmente en la atenuación de la cantidad de radiación a nivel del suelo, con el consiguiente amortiguamiento de las temperaturas extremas. Al sembrar las bellotas bajo el matorral, la supervivencia de las plantas emergidas aumentó notablemente: mientras bajo la protección por el matorral la supervivencia fue superior al 85%, en las zonas abiertas no alcanzó el 30 %, a los tres años de la siembra de las bellotas

(Foto y Figura 3). La presencia del matorral facilitador tuvo mucha más influencia en la emergencia y el establecimiento de las plántulas que la contaminación residual del suelo. Los resultados sugieren que la plantación de especies de matorral debe ser potenciada en la restauración de zonas degradadas por la minería. La presencia del matorral crea una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo que es más propicia para el establecimiento de otras especies de árboles. Considerar las relaciones positivas planta-planta (efecto facilitador) en el diseño de las plantaciones podría aumentar las tasas de supervivencia de especies de estadíos avanzados, como la encina. Además, en estudios complementarios hemos podido comprobar que la colonización y uso de la zona restaurada por la fauna es también muy dependiente de la cobertura arbustiva (Rodríguez *et al.*, 2009). Un diseño de plantación en mosaico, con abundancia de parches arbustivos de distinta densidad, podría favorecer la presencia de un mayor número de taxones animales, y una mayor conectividad de la zona restaurada con su matriz ecológica.

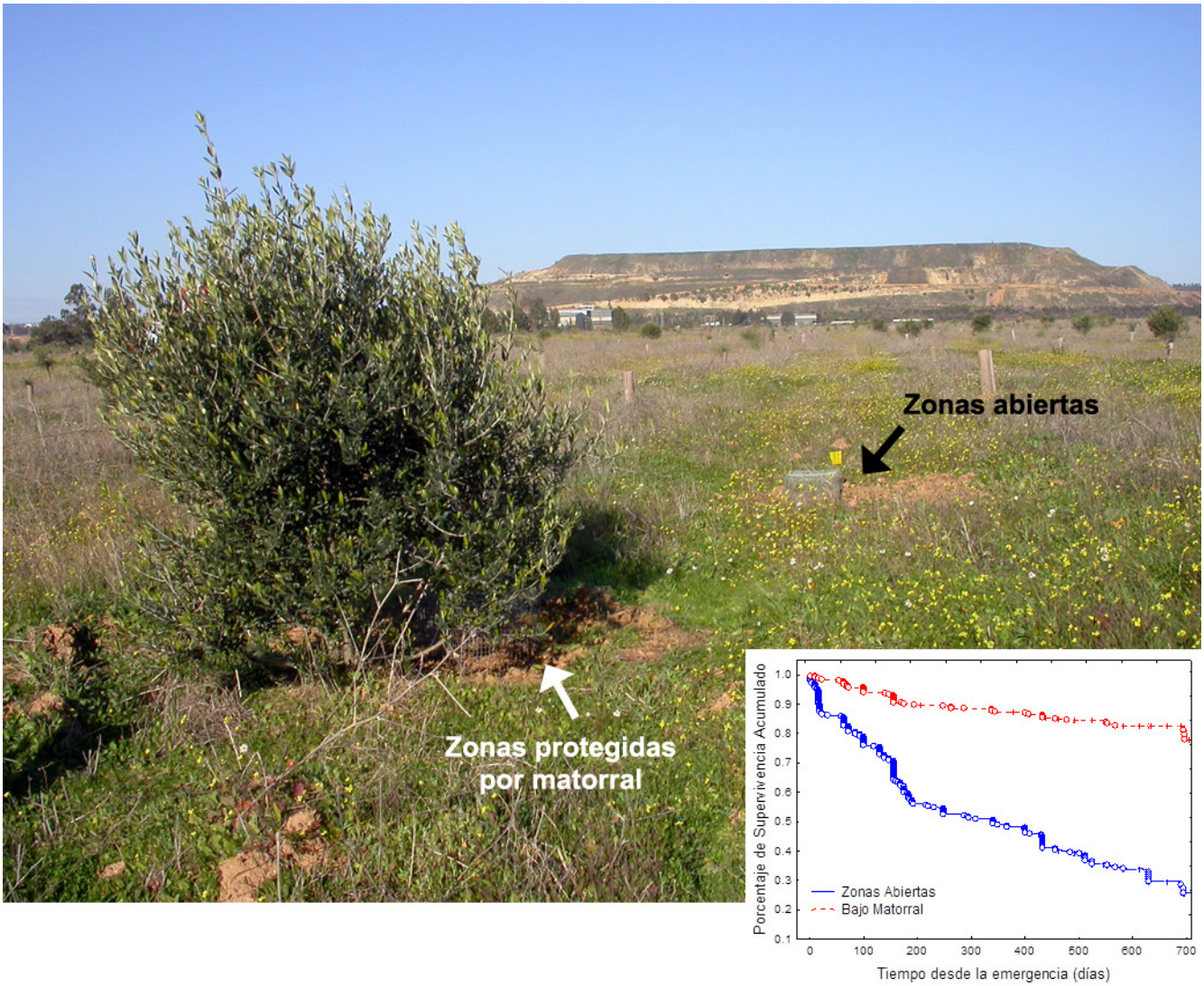


Foto y figura 3. Siembras experimentales de bellotas de encina realizadas en el Corredor Verde del Guadiamar (al fondo, vertedero de la mina de Aznalcóllar). Las plántulas emergidas debajo de matorral presentaron tasas de supervivencia mucho mayores a las plántulas emergidas en zonas abiertas (efecto facilitador del matorral).

CONCLUSIONES

El accidente de la mina de Aznalcóllar de 1998 supuso uno de los mayores desastres ambientales recientes en España, y un reto de gestión ambiental para los técnicos y la comunidad científica, pero también una oportunidad para investigar sobre las interacciones de los elementos traza en los ecosistemas y para aprender sobre la restauración ecológica de zonas degradadas por la minería. Distintos estudios realizados en la zona, hoy conocida como Corredor Verde del Guadiamar, a lo largo de los últimos diez años muestran que, a pesar de la retirada de los lodos tras el accidente, los suelos siguen teniendo altas concentraciones de los elementos traza presentes en el lodo, si bien éstos se encuentran bastante inmovilizados en el suelo, en condiciones de baja biodisponibilidad. El riesgo de transferencia de estos contaminantes a las plantas reforestadas puede ser bajo si se seleccionan las especies adecuadas, potenciando aquellas que presentan una alta retención de elementos en el sistema radical y evitando las que muestren un alto transporte de contaminantes desde el suelo hasta las hojas (como álamos y sauces). Asímismo, el pastoreo sería viable como medida de control de los pastizales, si se evitan los pastos poco desarrollados, donde aumenta la posibilidad de ingerir suelo contaminado adherido al pasto. De entre las especies con una alta capacidad de retención radical, deberían potenciarse las especies de matorral, ya que presentan mayores tasas de supervivencia y crecimiento durante los años posteriores a la plantación, creando una heterogeneidad espacial en las condiciones de luz, humedad y fertilidad del suelo que es más propicia para la colonización de otras especies de plantas.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a todo el personal del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC) implicado en los estudios desarrollados en el Corredor Verde del Guadiamar, en especial a Teodoro Marañón y José Manuel Murillo. Estos estudios pudieron llevarse a cabo mediante distintos convenios con la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Proyecto SECOVER) y mediante una beca FPU del Ministerio de Educación.

BIBLIOGRAFÍA

– ARENAS, J.M., CARRASCAL, F., GIL, A., MONTES, C., 2008. Breve historia de la construcción del Corredor Verde del Guadiamar. En: CMA (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía). *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del corredor verde. La historia de un paisaje emergente*, Sevilla, España, pp 29-64.

– BARGAGLI, R., 1998. *Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery*. Springer-Verlag, Berlin.

– BERTI, W.W. R., CUNNINGHAM, S.D., 2000 Phytostabilization of metals. En: Raskin, I., Ensley, B.D. (Ed.) *Phytoremediation of toxic metals – using plants to clean up the environment*, pp 71–78, John Wiley & Sons Inc, New York.

– CHANEY, R.L., 1989. Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food chains. En: Bar-Yosef, B., Barrow, N.J., Goldshmid, J. (Eds.), *Inorganic Contaminants in the Vadose Zone*. Springer- 517 Verlag, Berlin, pp 140-158.

Artículos

– DOMÍNGUEZ M., MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., SCHULIN, R., ROBINSON, B.H., 2008. Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar valley, SW Spain: a large scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution* 152, 50-59.

– DOMÍNGUEZ, M., MARAÑÓN, T., MURILLO, J., SCHULIN, R., ROBINSON, B., 2010a. Nutritional Status of Mediterranean Trees Growing in a Contaminated and Remediated Area. *Water, Air, & Soil Pollution* 205, 305-321.

– DOMÍNGUEZ M.T., MADEJÓN, P. MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., 2010b. Afforestation of a trace-element polluted area in SW Spain: woody plant performance and trace element accumulation. *European Journal of Forest Research* 129, 47-59.

– DOMÍNGUEZ M. T., MARAÑÓN, T., MURILLO, J.M., REDONDO-GÓMEZ, S., 2011 Response of Holm oak (Quercus ilex subsp. ballota) and mastic shrub (Pistacia lentiscus L.) seedlings to high concentrations of Cd and Tl in the rhizosphere. *Chemosphere* 83, 1166-1174.

– MORENO, J.M., 2005. *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Secretaría General Técnica, M.M.A. (Ed.), Madrid.

– NRIAGU, J.O., 1996. A history of global metal pollution. *Science* 272, 223–224.

– NRC (National Research Council), 2005. Mineral Tolerance of Animals. National Academies Press, Washington DC.

– REY-BENAYAS, J.M, NAVARRO, J., ESPIGARES, T., NICOLAU, J.M., ZAVALA, M.A. 2005. Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting Quercus species. *Forest Ecology and Management* 212, 305-314.

– RODRÍGUEZ, A., MARAÑÓN, T., DOMÍNGUEZ. M.T., MURILLO, J.M., JORDANO, D., FERNÁNDEZ HAEGER, J., CARRASCAL, F. 2009. Reforestación con arbustos para favorecer la conectividad ecológica en el Corredor Verde del Guadiamar. En: *Montes y Sociedad: saber qué hacer. Actas del 5 Congreso Forestal Español*, Sociedad Española de Ciencias Forestales.

– WARHUST, A., NORONHA, L., 2000. *Environmental policy in mining: coporate strategy and plannig for closure.* CRC Press, Boca Raton.

Artículos

Primera cita del molusco exótico *Bursatella leachii* de Blainville, 1817 (Mollusca: opistobranchia) en el litoral mediterráneo andaluz.

Alejandro José Ibáñez-Yuste[1], Ana Garrido-Díaz[1], Free Espinosa-Torre[3] y Alejandro Terrón-Sigler[1,2,3]

[1] Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. C/ Bergantín, 39. CP 41012 Sevilla, España. E-mail: ajibanezyuste@hotmail.com

[2] Asociación Hombre y Territorio. C/ Castellar nº54-56. Local 2. CP. 41003 Sevilla, España. E-mail: contacto@hombreyterritorio.org

[3] Laboratorio de Biología Marina, Departamento de Fisiología y Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes 6, CP. 41012 Sevilla, España.

RESUMEN

Bursatella leachii *de Blainville, 1817 es una especie circumtropical que se encuentra presente en el Mediterráneo como consecuencia de su migración a través del Canal de Suez desde el Mar Rojo. La primera cita de la especie en el litoral Mediterráneo español fue en las islas de Mallorca en el año 2004, posteriormente en el 2007 se observo en el Delta del Ebro y en el 2010 fue encontrada en la región de Murcia. En este trabajo se describe por primera vez la presencia de* B. leachii *en el Mediterráneo andaluz (sur de España).*

Palabras clave: *Bursatella leachii*, molusco, especie exótica, Mediterráneo, Andalucía.

INTRODUCCIÓN

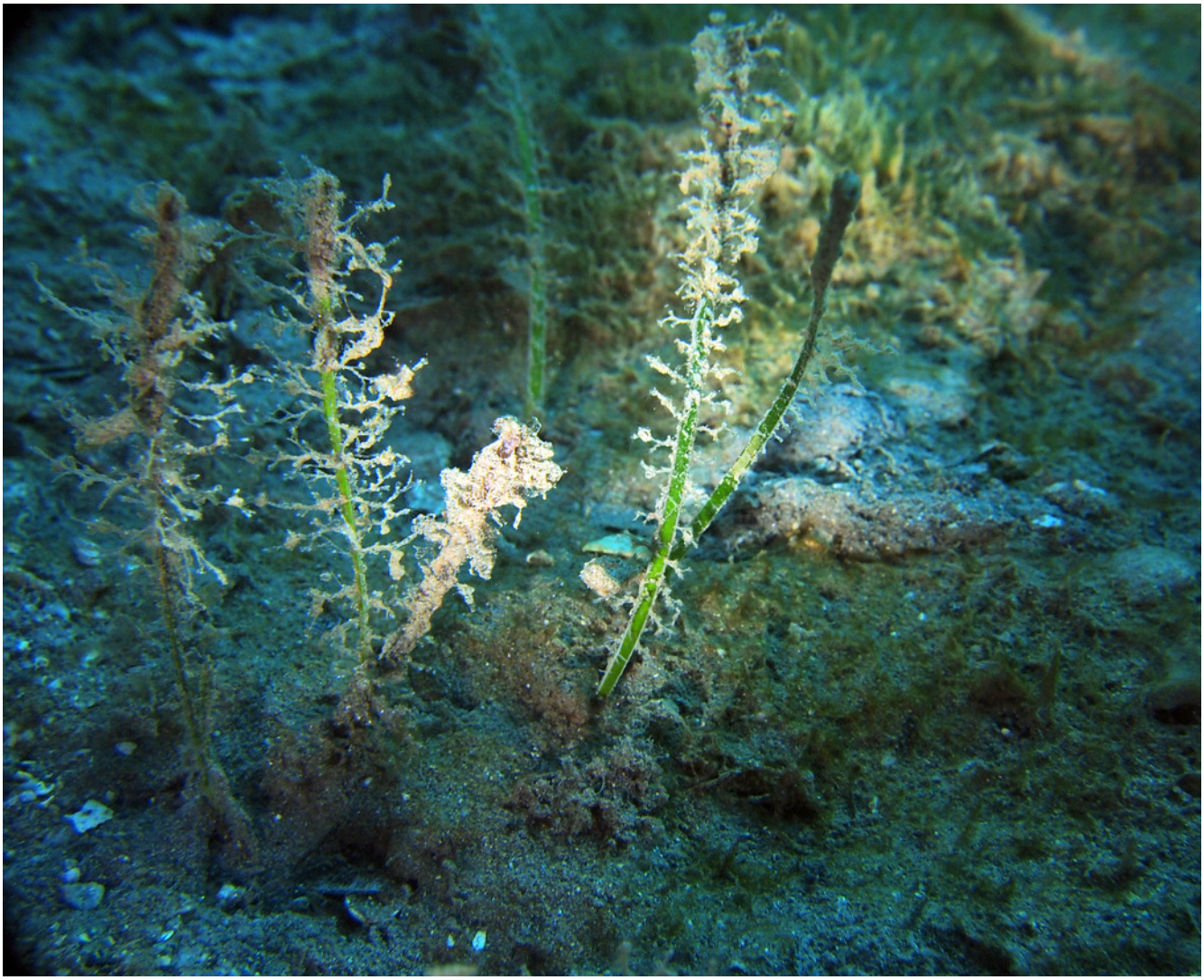
Desde la apertura del Canal de Suez en 1869, ha existido una afluencia de organismos procedentes del Mar Rojo y del océano Índico hacia el mar Mediterráneo. Este fenómeno, conocido como migración *lessepsiana* identifica al mar Mediterráneo como el mayor receptor mundial de especies exóticas (Streftaris *et al*., 2005).

Bursatella leachii es un molusco opistobranquio de la familia Aplysiidae, vulgarmente conocidas como liebres de mar, con especies de gran tamaño como *Aplysia fasciata* con más de 30 cm y eminentemente herbívoras (Gofas *et al*., 2011).

Bursatella leachii presenta una distribución circumtropical, siendo exótica en el mar Mediterráneo. Sus poblaciones naturales fluctúan esporádicamente, encontrándose en ocasiones miles de individuos y desapareciendo a las pocas semanas (Rudloe, 1971; Lowe y Turner, 1976; Zenetos *et al*., 2004). Presenta un patrón de comportamiento diurno y se suelen encontrar formando grupos al amanecer e individuos solitarios al atardecer (Ramos *et al*., 1995). Al no ser reconocida como especie introducida por barcos en el mar Mediterráneo (CIESM, 2002), junto con la cronología de su proceso de expansión, se apoya la tesis de que se trata de una auténtica especie *lessepsiana* (Zibrowius, 1991; Zenetos *et al*., 2005; CIESM, 2008).

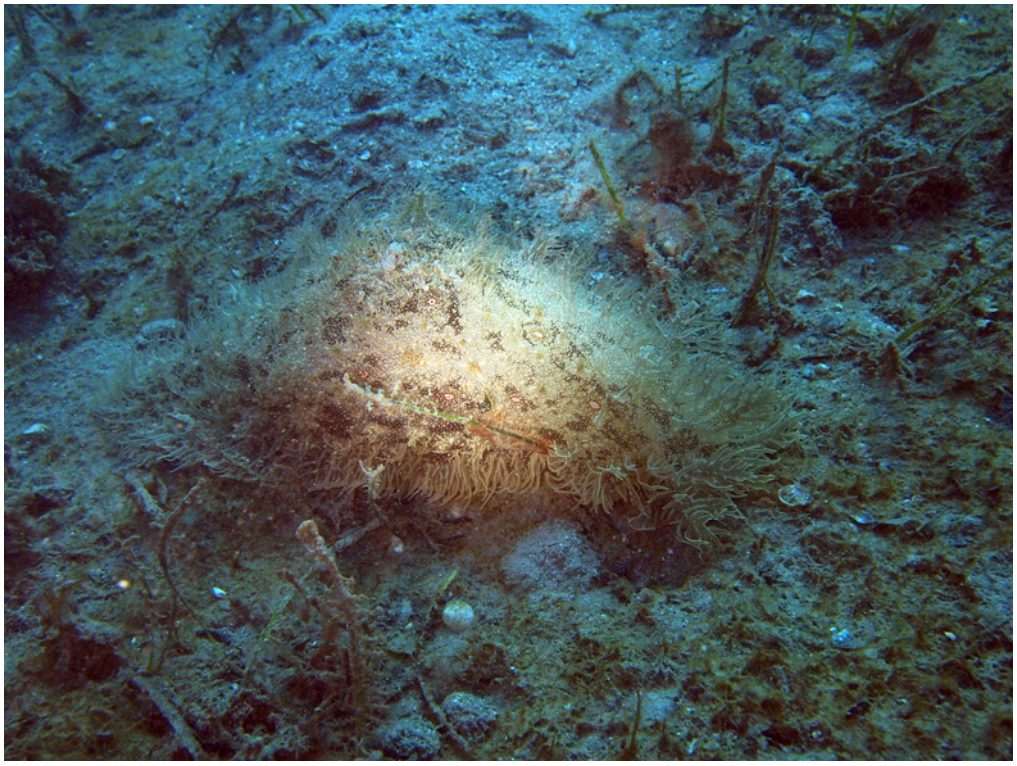
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 21 de febrero de 2012 (11:00 a.m.), un individuo de *Bursatella leachii* fue observado y fotografiado frente al litoral de Roquetas de Mar (Almería), dentro del Monumento Natural del Arrecife Barrera de *Posidonia oceanica*. El ejemplar se encontraba sobre un fondo arenoso-fangoso de pradera mixta de *Zostera marina* y *Cymodocea nodosa* (36º 47,772 002º 34,637) (Fotografía 1), entre 8 y 9 metros de profundidad, próximo a una pradera de *Posidonia oceanica*. El tipo de hábitat donde se ha localizado el espécimen, concuerda con las preferencias de la especie; zonas protegidas con fondos blandos y praderas marinas tropicales y subtropicales (Lowe y Turner, 1976), así como con lo expuesto por Zenetos *et al*. (2004) y Oliver y Terrasa (2004), que establecen que la especie en el Mediterráneo se halla normalmente sobre fondos blandos con *Caulerpa prolifera* o *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*. Además, los ejemplares citados en el litoral de Mallorca se encontraban sobre fondos arenosos de *P. oceanica* y *C. nodosa* (Oliver y Terrasa, 2004), los encontrados en el Delta del Ebro sobre *C. prolifera* (Weitzmann *et al*., 2009) y este tipo de hábitat también concuerda con el descrito en el Mar Menor y Altea donde fue encontrada en 2009 y 2010, respectivamente (Ramos-Esplá *et al*., 2010).



Fotografía 1: Fondo sobre el que se localizó el ejemplar de *Bursatella leachii*.

El individuo, de 164 mm de longitud, mostraba una pigmentación general parda clara. El cuerpo estaba recubierto de papilas de tamaño desigual, presentando la morfología tipo de la especie (Eales y Engel, 1935) (Fotografía 2).



Fotografía 2. Ejemplar de *Bursatella leachii* localizado.

Desde que apareció en el Mediterráneo por primera vez en Israel (O´Donoghue y White, 1940), se ha encontrado en diferentes países mediterráneos de forma ocasional, preferentemente en zonas protegidas y con una distribución discontinua (Antit *et al.*, 2011). Las fechas de aparición en diferentes países, así como la publicación donde se ha citado, se puede observar en la figura 1 y la tabla 1.

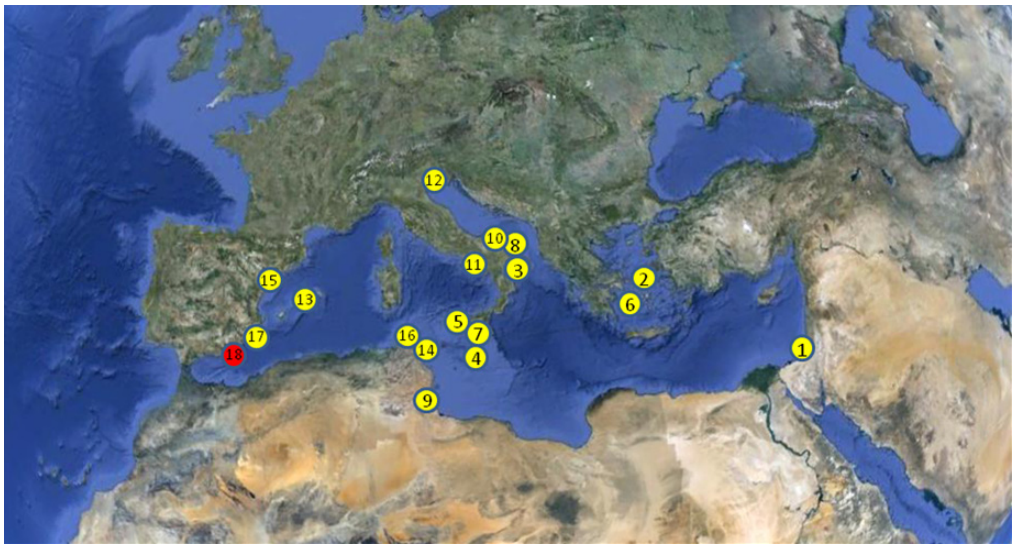


Figura 1. Aparición de *Bursatella leachii* en el Mediterránea según las citas mostradas en la tabla 1.

Artículos

Tabla 1. Orden cronológico de las localidades donde ha sido citada la especie en el Mediterráneo.

AÑO	LOCALIDAD	PUBLICACIÓN
1940	Israel	O'Donoghue y White, 1940
1959	Turquía, Mar Egeo	Swennen, 1961
1968 al 1973	Italia, Golfo de Taranto	Tortorici y Panetta, 1977
1969	Malta	Bebbington, 1970
1975-76	Italia, Sicilia	Catalano *et al.*, 1978
1975	Grecia, Isla de Chios	Colección de la Universidad de Thessaloniki, Barash y Danin, 1986
1980	Italia, Sicilia	Pianni, 1980
1981	Italia, Lecce	Fasulo *et al.*,1984
1982	Túnez, Golfo de Gabes	Fotografía del Museum National d´Historie Naturelle to Djerba
1983	Italia, Adriático, Bari	Vaccarella y Pastorelli, 1984
1983	Italia, Golfo de Nápoles	Fasulo *et al.*,1984
1985	Italia, Venecia	Cesari *et al.*, 1986
1996, 1997, 1998, 2003 y 2004	España, Mallorca	Oliver y Terrasa, 2004
1996	Túnez	Enzenroß y Enzenroß, 2001
2007	Delta del Ebro	Weitzmann *et al.*, 2009
2009	Costa Norte de Túnez	Zakhama-Sraieb *et al.*, 2009
2009 y 2010	España, Mar Menor y Altea	Ramos-Esplá *et al.*, 2010
2012	España, Almería, Mar de Alborán	Presente trabajo

Debido a sus características, el mar Mediterráneo presenta gran cantidad de endemismos y una riqueza específica muy elevada en comparación con su superficie, representando menos del 1% de todos los océanos (Terrón-Sigler *et al.*, 2011).

Hasta ahora el mar de Alborán se ha considerado libre de moluscos exóticos, en parte por la gran riqueza especifica de este (Zenetos *et al.*, 2010). Pero el descubrimiento de *Godiva quadricolor* (Cervera *et al.*, 2010) y el actual hallazgo de *B. leachii* en las costas de Almería ponen de manifiesto que esta riqueza podría verse amenazada por diversas causas de origen antrópico, entre ellas la invasión de especies exóticas que pudieran desplazar a otras especies locales. La alimentación de *B. leachii* se basa en cianofíceas y diatomeas (Paige, 1988) con lo que no entraría en competencia directa con las especies afines mediterráneas, pero sin duda su establecimiento y sus costumbres gregarias, pueden representar un desequilibrio en el medio.

Por ello, es necesario realizar seguimientos periódicos sobre la proliferación de la especie en el litoral andaluz y estudios científico-técnicos para conocer si el establecimiento de *B. leachii* en el litoral puede ocasionar daños irreparables sobre la riqueza faunística de los fondos marinos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar las gracias a Francisco Luengo y Lucas Moreno por su participación en los muestreos y al Doctor Serge Gofas por su ayuda e información para la determinación del ejemplar.

BIBLIOGRAFÍA

– ANTIT, M., GOFAS, S., SALAS, C. AND AZZOUNA, A., 2011. One hundred years after Pinctada: an update on alien Molluscan in Tunisia. Mediterranean. Marine. *Science*. 12/1,53-73.

– BARASH, A., Y DANIN, Z., 1986. Further additions to the knowledge of Indo-Pacific Mollusca in the Mediterranean Sea. *Spixiana*, 9: 117-141.

– BEBBINGTON, A., 1970. Aplysiid species from Malta with notes on the Mediterranean Aplysiomorpha (Gastropoda, Opistobranchia). *Pubbl. Staz. zool. Napoli*, 38 (1): 25-46.

– CATALANO, E., PARRINELLO, N. i DE LEO, G., 1978. Nuovi dati sulla penetrazione nel mar Mediterraneo de *Bursatella leachii* savignyana Audouin. 1826 (Gastropoda Opisthobranchia). Ritrovamento nel golfo di Palermo. *Men. Biol. mm: Oceanogr*. 8(5): 123-128.

– CERVERA, J.L., TAMSOURI, N., MOUKRIM, A. Y VILLANI, G., 2010. New records of two alien opisthobranch molluscs from the north-eastern Atlantic: *Polycera hedgpethi* and *Godiva quadricolor*. *Marine Biodiversity Records*, 3 (e51).

– CESARI, P., MIZZAN, L., MOTTA, E., 1986. Rinvenimento di *Bursatella leachi leachi* Blainville, 1817 in Laguna di Venezia. Prima segnalazione adriatica (Gastropoda, Opisthobranchia). *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat*. Venezia 11: 5-16.

– CIESM, 2002. Alien marine organisms introduced by ship in the Mediterranean and Black seas. CIESM Workshop Monographs nº20, 136 pages, Mónaco.

– CIESM, 2008. Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. Nº35 in CIEMS Workshop Monographs (F. Briand, Ed.), 152 p. Mónaco.

– EALES, N. B.Y ENGEL, H., 1935.The genus *Bursatella* De Blainville. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 21: 279-303.

– ENZENROß, L. Y ENZENROß, R., 2001. Untersuchungen uber das Vorkommen mariner Mollusken in Tunesischen Gewasser. *Schriften zur Malakozoologie-Cismar*, 17: 45-62.

– FASULO, G., PERNA, E. Y TOSCANO, F., 1984. Prima segnalazione di *Bursatella leachii* savygiana Audouin, 1826 per il Golfo di Napoli. *Bollettino Malacologico*, 20 (5-8): 161-163.

– GOFAS S., MORENO D. y SALAS C. (coords.)., 2011. Moluscos marinos de Andalucía. Volumen I, pp. i-xvi y 1-342; Volumen II, pp.i-xii y 347-798. Málaga: Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Málaga.

– LOWE, E.F., Y TURNNER, R.L., 1976. Aggregation and trail-following in juvenile *Bursatella leachii plei* (gastropoda: Opisthobranchia. *Veliger* 19:153-155.

– O'DONOGHUE, C.H. Y WHITE, K.M., 1940. A collection of marine molluscs, mainly opisthobranchs, from Palestina. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 24: 92-96.

– OLIVER, J.A. Y TERRASA, J., 2004. Primera cita de *Bursatella leachii* (de Blainville, 1817) (Mollusca, Opistobranchia) a Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 47: 37-42.

– PAIGE, J.A., 1988. Biology, metamorphosis and postlarval development of *Bursatella leachii plei* Rang (Gastropoda: Opisthobranchia). *Bulletin of Marine Science*, 42:65-75.

– PIANNI, P., 1980. Ritrovamento nelle acque della Sicilia orientale di *Bursatella leachii* savignyana. *Boll. Malac.*, Milano, 16 (1-2): 5-8.

– RAMOS, L.J., LOPEZ, R. J.L., MILLER, M.W., 1995. Behavior patterns of the aplysiid gastropod *Bursatella leachii* in its natural habitat and in the laboratory. *Neurobiol. of Learning and Memory* 63: 246-259.

– RAMOS-ESPLÁ, A. A., IZQUIERDO, A., VAZQUEZ, M., LOZANO, F., GIMÉNEZ-CASALDUERO, F., 2010. Introducciones recientes de especies de afinidades cálidas en el litoral del SE Ibérico. p. 271. XVI Simposio ibérico de Estudios de Biología Marina. Libro de resúmenes. Universidad de Alicante (España).

– RUDLOE, J., 1971. The Erotic Ocean. Thomas Y Crowell Co., NY. 448 pp.

– STREFTARIS, N., ZENETOS, A., PAPATHANASSIOU, E., 2005. Globalisation in marine ecosystems: the story of non-indigenous marine species acroos European seas. *Oceanografía Mar. Biol. Annual Review*, 43:419-453.

– SWENNEN, C., 1961. On a collection of Opisthobranchia from Turkey. *Zoologische Mededelingen*, 38: 41-75.

– TERRÓN-SIGLER, A., PEÑALVER, P., ESPINOSA, F., Y LEÓN-MUEZ, D., 2011. Ensayo experimental para el trasplante de colonias de coral naranja (*Astroides calycularis*, Pallas 1766); especie insignia del litoral sur de la Península Ibérica. *Chronica naturae*, 1: 35-45.

– TORTORICI, R., PANETTA, P., 1977. Notizie ecologiche su alcuni Opistobranchi raccolti nel Golfo di Taranto (Gastropoda). *Atti Soc. ital. Sci. nat. Museo Civ. Stor. nat.* Milano, 118 (2): 249-257.

– VACCARELLA, R., Y PASTORELLI, A.M., 1984. Estenzione dell ateale di *Bursatella leachi* savignyana (Audouin) (Opistobranchia, Aplysiidae) al Basso Adriatico. *Thalas. salent.*, 12-13, 1983: 60-61.

– WEITZMANN, B., GARCIA, M., BALLESTEROS, E., 2009. Primera cita de la llebre de mar *Bursatella leachi* (de Blainville, 1817) a la costa mediterrània peninsular. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 75:153-158.

– ZAKHAMA-SRAIEB, R., RAMZI S., Y CHARFI-CHEIKHROUHA, F., 2009. On the occurrence of *Bursatella leachii* De Blainville, 1817 and *Pinctada radiata* (Leach, 1814) in the Gar El Melh lagoon (NE Tunisia). *Aquatic Invasions*. Vol 4, Issue 2:381-383.

– ZENETOS, A., GOFAS, S., RUSSO, G. I TEMPLADO, J., 2004. CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean. Vol. 3 Molluscs. (F. Briand, Ed). CIESM, Mónaco:376 pp.

– ZENETOS, A., KOUTSOUBAS, D., VARDALA-THEODOROU, E., 2005. Origin and vectors of introduction of exotic molluscs in Greek waters. *Belg. J. Zool.*, 135 (2)279-286.

– ZENETOS, A., GOFAS, S., VERLAQUE, M., INAR, M.E., GARCIA RASO, J.E., BIENACHI, C.N., MORRI, C., AZZURRO, E., BILECENOGLU, M., FROGLIA, C., SIOKOU, I., VIOLANTI, D. SFRISO, A., SAN MARTÍN, G., GIAGRANDE, A., KATAGAN, T., BALLESTEROS, E., RAMOS-ESPLÁ, E., MASTROTO-RATO, F., 2010. Alien species in the Mediterranean sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11/2, 381-493.

– ZIBROWIUS, H., 1991. Ongoing modification of the Mediterranean marine fauna and flora by the establishment of exotic species. *Mesogee*, 51: 83-107.

Artículos

La hidroacústica horizontal utilizada en la gestión de las comunidades de peces: en busca de la firma acústica de barbos y carpas.

Rodríguez-Sánchez, V.[1]; Encina, L.[1]; Rodríguez-Ruiz, A.[1]; Sánchez-Carmona, R.[1]; Monteoliva Herreras, A.[2]; Alonso de Santocildes, G.[2] y Monnà Cano, A.[2]

[1] Dpto. Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. Apdo. 1095. 41080 Sevilla.

[2] Ecohydros S.L. Polígono Industrial de Cros, Edificio 5- Nave 8. 39600- Maliaño (Cantabria).

RESUMEN

La hidroacústica es una de las metodologías más recomendadas en el estudio de la densidad, biomasa y comportamiento de los peces en los ecosistemas de agua dulce. La aplicación horizontal en aguas poco profundas presenta algunas incertidumbres relacionadas con la señal acústica recibida (TSc) en relación al aspecto del pez (orientación del eje del cuerpo del pez con respecto al haz acústico). En este sentido, es necesario continuar trabajando para resolver algunas de las dificultades encontradas en las estimas horizontales mediante experimentos en medios controlados. Se presentan en este estudio los primeros resultados de las grabaciones hidroacústicas con peces en libertad, realizados sobre individuos pertenecientes a las especies carpa y barbo. Para las grabaciones se ha utilizado una ecosonda de 200 kHz SIMRAD EK60. Se ha estudiado el efecto de la orientación sobre el TSc (máximo, mínimo y medio) y por tanto, sobre las estimas de longitud total del pez y peso total. El objetivo de este proyecto es desarrollar ecuaciones que mejoren las conversiones de la señal acústica recibida (TSc), en longitud y peso real para la hidroacústica horizontal utilizada en aguas someras.

Palabras clave: señal acústica (TS), hidroacústica horizontal, peces, agua dulce.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ictiólogos de toda Europa trabajan para la normalización de los métodos de muestreo utilizados para el estudio, gestión y conservación de las comunidades de peces, tanto en sistemas de agua dulce como en sistemas marinos. Según las últimas publicaciones, la combinación de dos o más métodos de muestreo favorece la obtención de una imagen más real de la situación del ecosistema estudiado en un momento determinado (Editorial, 2009). Entre las metodologías más utilizadas para el estudio de la densidad, biomasa y comportamiento de los peces se encuentra la hidroacústica, de hecho el valor de la hidroacústica para la investigación de peces continentales ha sido reconocido por el Comité Europeo de Normalización (CEN) como un método formalmente aprobado para el muestreo de peces, presentando una gran idoneidad en la proporción de estimas de abundancia de peces en las aguas medias de grandes ríos, en aguas de transición, y en las zonas pelágicas y profundas de los lagos (CEN, 2006). Aunque por ahora, esta técnica debe combinarse con el uso de redes agalleras (CEN, 2005) para la identificación de especies.

La hidroacústica es una técnica que aplica el sonido y sus propiedades en el estudio de las masas de agua. Para conseguir la información utiliza un aparato llamado ecosonda, que funciona como transmisor y receptor de señales sonoras. Este aparato, emite ondas sonoras que viajan en el agua chocando con todos los organismos y partículas que encuentra a su paso (Figura 1). Cada uno de los obstáculos con que tropiezan las ondas sonoras emite a su vez un eco de vuelta. Estos ecos son recibidos por el receptor, y el programa de adquisición de datos, lo traduce en una imagen (ecograma) que representa el ecosistema subacuático.

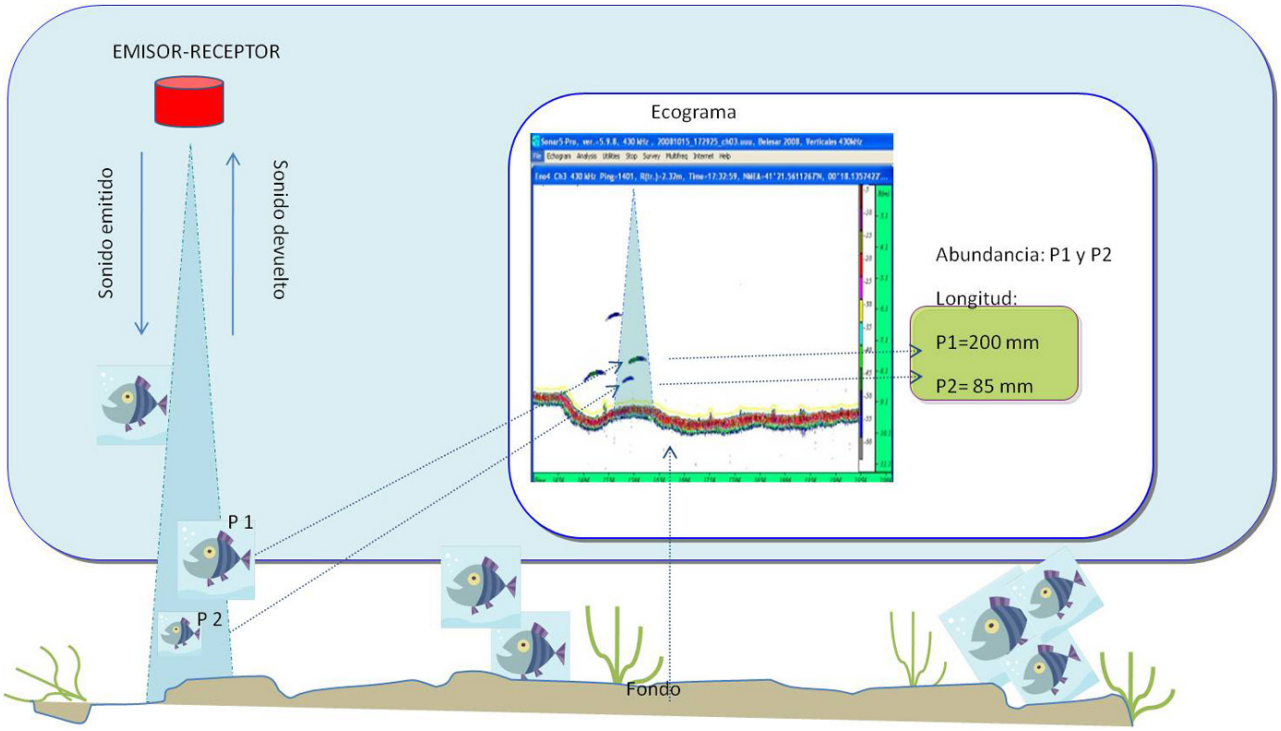


Figura 1. Representación esquemática del mecanismo aplicado en hidroacústica: A la izquierda en rojo aparece la ecosonda que emite y recibe el sonido. A la derecha aparece un gráfico que representa el sonido recibido y se llama Ecograma.

Al proporcionar información de los distintos compartimentos del ecosistema acuático, no es de extrañar que sus aplicaciones se estén extendiendo rápidamente hacia muchos campos de estudio. Concretamente, cada vez es más utilizada en los estudios biológicos de los sistemas acuáticos, pudiendo aplicarse tanto en estudios de pequeños organismos (zooplancton y fitoplancton) como en estudios de organismos de mayor tamaño (plantas sumergidas o macrófitas y peces).

Por ser poco agresiva con el medio, obtener una gran cantidad de información en poco tiempo y por la fiabilidad de los resultados, la hidroacústica es una de las técnicas más aplicadas y estudiadas de los últimos años. No obstante, en el caso concreto de los peces de agua dulce, las conversiones de los parámetros acústicos a parámetros biológicos reales presentan ciertas desviaciones sólo salvables mediante la realización de experimentos controlados donde sean conocidas tanto las especies como sus longitudes y pesos (Kubecka, 1994; Kubecka y Duncan, 1998; Lilja *et al.*, 2000; Frouzova y Kubecka, 2004).

El sonido de los peces tratados individualmente depende en general de parámetros morfológicos tales como la longitud, el peso, el desarrollo gonadal, el contenido graso, tipo y tamaño de la vejiga natatoria, etc. Pero además, en la aplicación horizontal, parámetros no biológicos como la orientación y dirección de natación del pez con respecto a la fuente sonora es crucial en la respuesta emitida por el individuo frente al sonido. Variaciones

en la orientación de los peces, provocan variaciones en el sonido devuelto, por lo que un mismo individuo puede producir diferentes sonidos dependiendo de la orientación que presente respecto al haz acústico. Por este hecho, se hace necesario realizar estudios que focalicen sus esfuerzos en la determinación de esta variabilidad acústica a fin de construir ecuaciones que estimen fiablemente la longitud y peso de los individuos presentes en las prospecciones acústicas.

Igualmente, en los últimos años se está trabajando en la determinación de las especies por análisis de espectro de frecuencia (Ed. aFondo, 2009). Cada especie tiene una determinada reflectividad para cada frecuencia y con esto puede confeccionarse una curva de la respuesta de cada especie a diferentes frecuencias. Si bien, aunque se espera poder obtener resultados a corto plazo, los resultados del experimento no se han expuesto en este trabajo.

Se presentan así los resultados preliminares del estudio experimental hidroacústico realizado en las instalaciones de la Estación de Ecología Acuática Príncipe Alberto I de Mónaco, Sevilla, por parte del grupo de peces de la Universidad de Sevilla y la empresa Ecohydros SL. El objetivo principal del estudio, ha sido la obtención de ecuaciones para convertir los valores de respuesta acústica (TSc) a parámetros biológicos reales, tales como la longitud total de los individuos en dos de las especies más abundantes en nuestros sistemas epicontinentales.

MATERIAL Y MÉTODOS

LOS EJEMPLARES ÍCTICOS

Se han analizado los registros sonoros de 10 individuos de diferente talla, pertenecientes a dos especies distintas. La selección de las especies se hizo en base a su representatividad en los sistemas epicontinentales ibéricos. De esta forma, las especies seleccionadas fueron el barbo sp. (*Luciobarbus sp*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*).

Los ejemplares fueron capturados mediante pesca eléctrica y trasladados a los acuarios de cuarentena, donde siguieron un estricto protocolo para asegurar su buen estado de salud y evitar infecciones generalizadas en el acuario experimental.

Cada uno de los ejemplares seleccionados fue medido en longitud (mm) y peso (g) antes de ser introducido en el acuario. Las referencias de dichas medidas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los ejemplares utilizados para el análisis hidroacústico. Longitud total (mm), longitud estándar (mm) peso total (g), y número de trayectorias analizadas.

EJEMPLARES	LONGITUD TOTAL (mm)	LONGITUD ESTÁNDAR (mm)	PESO (g)	NÚM. TRAYECTORIAS
Barbo sp.	135	112	27	53
	174	142	75	48
	256	213	155	99
	335	284	350	124
	403	343	600	268
Carpa sp.	140	111	36	265
	233	185	181	115
	380	310	960	124
	420	345	740	53
	470	395	1500	251

DISEÑO EXPERIMENTAL

La estructura para albergar a los peces durante las grabaciones consistió en una jaula de dimensiones 1.5mx1.5mx1.5m realizada en PVC, malla mosquitera y malla de nylon monofilamento de luz de malla 5mm (Figura 2).

En el interior de la jaula se introdujeron aisladamente los peces seleccionados durante 48 horas. Los registros acústicos presentados en este estudio pertenecen a una Ecosonda Simrad EK60 de 200kHz y haz partido circular (7º), colocada a una distancia de 4 metros de la jaula, aunque en el experimento se ha utilizado simultáneamente una ecosonda Biosonics DTX de 430 kHz y haz partido y elíptico (4º x 8º). Las grabaciones hidroacústicas se realizaron utilizando dos longitudes de pulso diferentes (128µs y 256 µs) y dos iluminaciones diferentes (luz y oscuridad), para simular los ciclos diarios de día y noche (Axenrot *et al.*, 2004; Tuser *et al.*, 2009). No obstante, en el presente estudio se presentan los resultados obtenidos de las grabaciones realizadas sobre las especies señaladas con la ecosonda de 200 kHz de frecuencia, iluminación diurna y utilizando una longitud de pulso de 128µs.

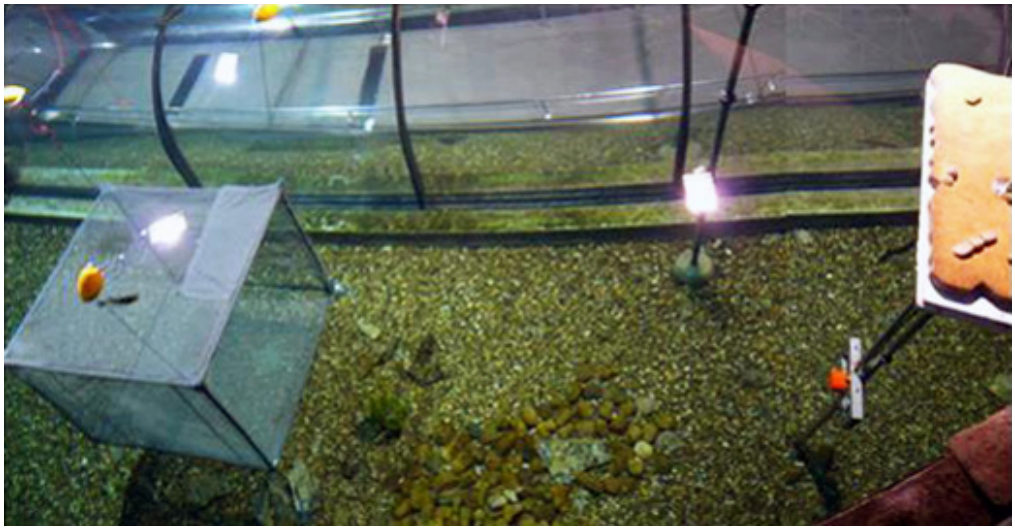


Figura 2. Imagen de la jaula diseñada para albergar a los ejemplares seleccionados durante las grabaciones de insonificación. *Fotografía*: vrodríguez.

DISEÑO DE GRABACIÓN

Los parámetros seleccionados para la adquisición de los datos acústicos fueron: longitud de pulso: 128 µs; tasa de pulso: 10 ping/segundo y umbral de detección (Threshold): -130dB.

Previas a las grabaciones se realizaron pruebas de calibración con esfera de cobre de 13mm a 19ºC. La esfera se colocó delante de la jaula, en el interior de la misma y detrás de ella, comprobando en cada caso que la desviación del sonido esperado no superaba los ± 3 dB.

PROCESADO DE DATOS

Los datos acústicos procedentes de cada uno de los individuos insonificados se procesaron con Sonar 5-Pro (Balk y Lindem, 2009). Los archivos brutos (.raw/.dt4), se convirtieron con 40logR. Los parámetros seleccionados para la conversión fueron: min. Echo Length: 0.8; Max. Echo Length: 1.6; min. Threshold: -70dB. Max. Phase Deviation: 8;

Gain: 5, similares a los parámetros utilizados en un estudio anterior (Frouzova *et al.* 2005).

Una vez obtenidos los ecogramas se procedió a la clasificación y registro de trayectorias (conjunto de ecos que dibujan la línea que el pez describe con su movimiento) de los peces insonificados, incluyendo en el registro sólo aquellos ecos que distaran como máximo 3 grados del centro acústico definido en las coordenadas (0,0) (Figura 3).

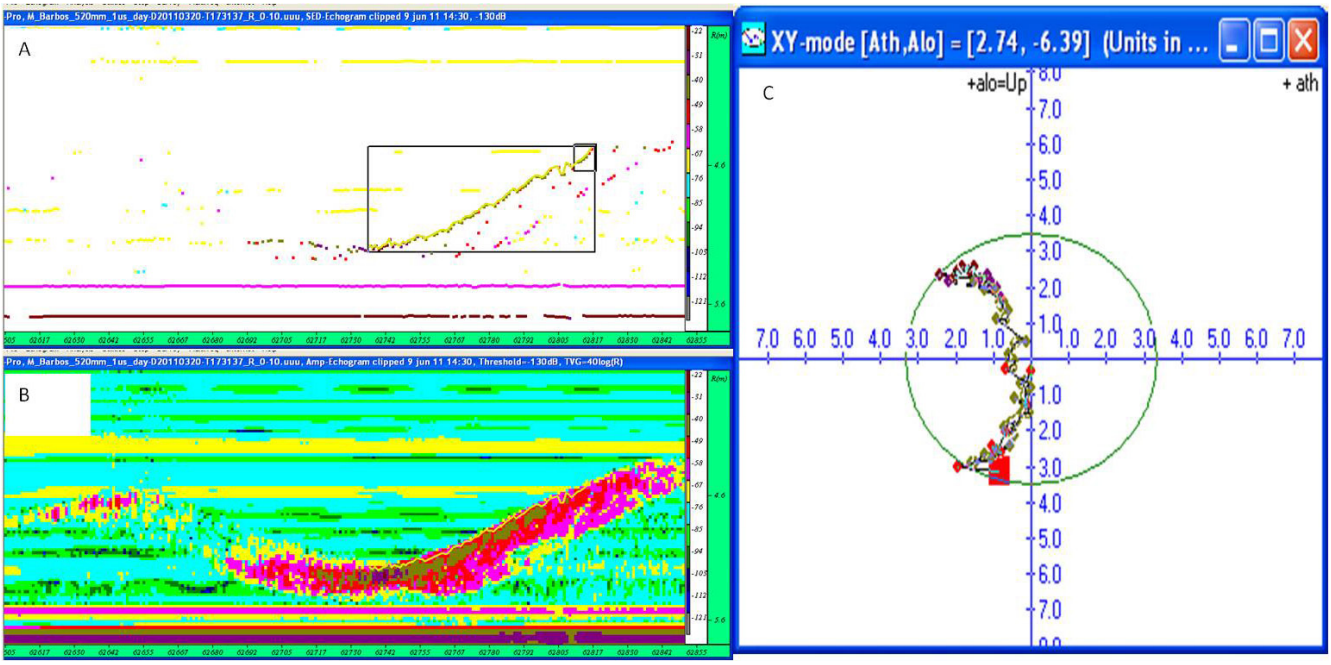


Figura 3. Trayectoria acústica registrada para un barbo de 403mm grabado con la ecosonda de 200 kHz. A.- Ecograma de ecos simples (SED-Echogram). B.-Ecograma de ecos amplificados (Amp-Echogram). C.- Representación gráfica de la trayectoria seleccionada en los ejes cartesianos del axis acústico (º).

Posteriormente, las trayectorias fueron clasificadas según su orientación con respecto al haz acústico, quedando renombradas como "aspecto cabeza-cola", ángulos de 0º a 20º, "aspectos laterales" con ángulos de 70º a 90º y "aspectos intermedios", el resto de las orientaciones.

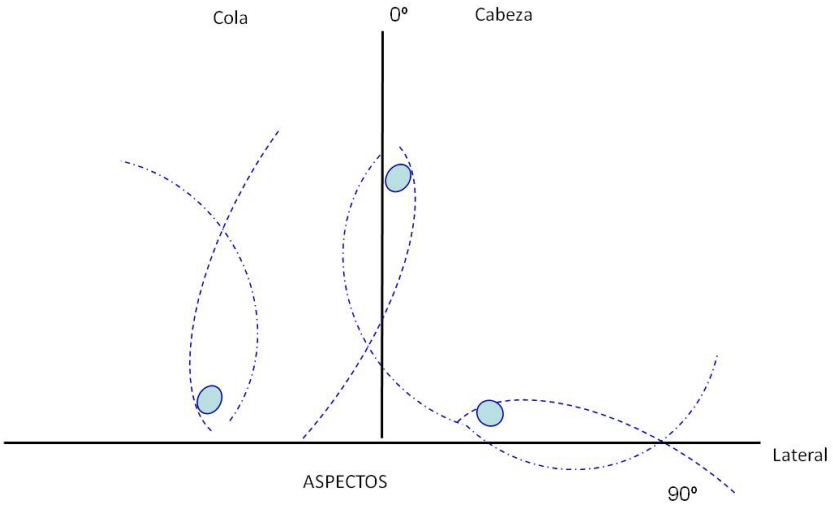


Figura 4. Posibles orientaciones del pez con respecto al haz acústico (0-90º). Aspectos de valor acústico mínimo esperado: Cabeza y Cola (0-20º). Aspectos de valor acústico máximo esperado: Lateral (70-90º).

ESTADÍSTICA APLICADA

Los análisis estadísticos de los datos se realizaron utilizando el software PASW Statistics.18. Se estimaron las regresiones de la señal acústica compensada (TSc, en adelante) con respecto a la longitud total de los individuos: TSc=aLogx + b (Love, 1977), donde *a* y *b* son constantes para cada una de las especies y *x*, es la longitud total del pez.

Para estudiar la influencia de los factores especie, talla y aspecto, se realizaron análisis de la varianza al 95%. En todos los casos una probabilidad del 0.01 fue utilizada para contrastar la significación de la hipótesis nula.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha comprobado en estudios anteriores (Frouzova *et al.*, 2005; Kubecka *et al.*, 2009) el TSc resultante de un pez en el plano horizontal es menos predecible que el encontrado en el plano vertical, ya que la variabilidad de las orientaciones es mayor y el cambio en el TSc depende principalmente del comportamiento del pez (Torgersen y Kaartvedt, 2001).

En la práctica esto significa que para individuos de una especie determinada, insonificados con una frecuencia específica, por ejemplo en nuestro experimento: para un barbo de 256mm de longitud, el TSc varía en el plano horizontal desde -53 a -33 dB, es decir, 20 dB de diferencia entre el mínimo y el máximo encontrados.

En este estudio, hemos avanzado en complejidad con respecto a investigaciones anteriores al introducir una nueva variable, el movimiento natural del pez. Esta nueva variable se relaciona directamente con los cambios en la respuesta acústica del pez, ya que las variaciones en la orientación durante la natación provocan cambios en el TSc. En un principio podíamos pensar que el rango de variación entre el TSc máximo y mínimo sería mayor que en experiencias previas como la de Frouzova *et al.* (2005) con peces inmovilizados, pero los resultados de nuestro experimento con peces nadando en libertad, mostraron grandes coincidencias en la variación del TSc, lo cuál nos alienta para proseguir con la investigación en estos mismos términos.

Por otro lado, si utilizamos los TSc medios resultantes del cálculo de los aspectos y comparamos los valores obtenidos para el aspecto cabeza-cola (mínimo TSc esperado) y el aspecto lateral (Máximo TSc esperado), las diferencias se reducen a menos de 10 dB de diferencia entre los TSc medios de los aspectos máximo y mínimo. Esto es debido a que la media encontrada para el TSc en cada aspecto suaviza los picos de señal acústica producidos en determinadas orientaciones. Por lo que, cuanto mayor sea el número de individuos insonificados, más ajustadas resultarán las ecuaciones perseguidas, si bien, resultados preliminares como este, nos ayudan a plantear el estudio de los datos.

Para cada talla se han calculado las regresiones TSc-Longitud estándar resumidas en la Tabla 2. Todas las regresiones son significativas ($p<0,001$) y relacionan positivamente el aumento de la señal acústica con la longitud. El ajuste de la regresión es mayor para la especie carpa, aunque probablemente la relación del barbo mejorará con la inclusión de nuevas tallas. La distribución del TSc medio registrado para cada especie difiere significativamente ($F_{1,32}= 217,31$; $p<0,001$), aunque las diferencias para la media acústica de cada especie apenas superaron los dos decibelios, lo que hace por ahora imposible diferenciar los ecos recibidos por estas dos especies de ciprínidos en los estudios hidroacústicos. Como se ha comentado anteriormente, deberemos estudiar más adelante las respuestas de estos mismos individuos a diferentes frecuencias y observar las

variaciones que puedan producirse, ya que cuando las especies son muy parecidas, como en nuestro caso con dos especies de ciprínidos, la combinación de frecuencias parece ser la clave para la diferenciación por especies.

Tabla 2. Resultados de la regresión lineal aplicada sobre los valores de TSc (dB) y longitud estándar (mm) registrados en las trayectorias clasificadas para cada especie. R^2: ajuste de la regresión. a y b: constantes; p: significación de la regresión.

Especie	R^2	*a*	*b*	*p*
Barbo sp.	0,541	-93,252	22,621	<0,001
Carpa sp.	0,755	-101,732	26,683	<0,001

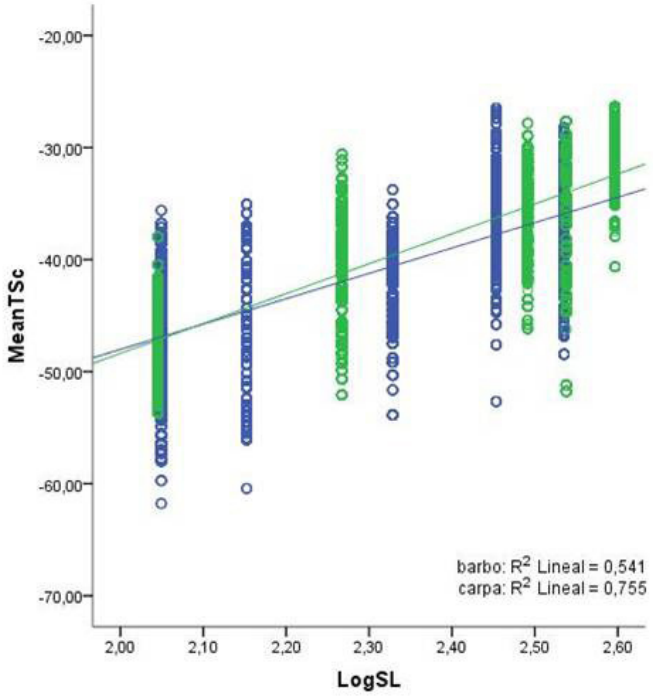


Figura 5. Regresiones lineales aplicadas sobre los valores de TSc (dB) y el logaritmo de la longitud estándar (mm) de los individuos estudiados. En verde se representa a la especie carpa y en azul a la especie barbo. Ajustes de la regresión (R^2).

Como se observa en la Figura 5, el sonido devuelto se hace más fuerte cuando los individuos pertenecen a tallas más grandes, es decir, el TSc covaría con la longitud de los individuos muestreados, siendo su relación positiva y significativa para las especies estudiadas. Los valores más bajos de TSc se obtienen en las tallas de menor longitud, reflejando los peces más pequeños sonidos más débiles. Esto coincide con los resultados de Frouzova *et al.*, 2005 y demuestra una vez más, que las estimaciones de longitud en los estudios ícticos con hidroacústica horizontal, reflejan las variaciones reales de longitud. Por todo esto, en estudios de este tipo, se aconseja utilizar la longitud de los individuos como covariable una vez comprobada la relación entre TSc y tamaño.

En el apartado de Material y Métodos se ha definido el aspecto como las diferentes orientaciones de natación de un pez con respecto al plano de emisión sonora, referenciados en el primer cuadrante de los ejes cartesianos del haz acústico (+/+). De tal forma, aspectos de 0º-20º se corresponderían con orientaciones próximas al aspecto de cabeza-cola y aspectos de 70º-90º se corresponderían con orientaciones próximas al aspecto lateral.

Como se observa en la Figura 6, los valores más bajos para TSc se obtuvieron para las orientaciones de natación más perpendiculares al plano dibujado por los transductores, aspecto de cabeza y cola (0-20º). Por lo que podemos decir que a medida que los peces nadan más paralelos al plano del transductor los sonidos devueltos se hacen más fuertes, debido principalmente al aumento en la exposición de la vejiga natatoria al sonido (Blaxter and Batty, 1990). Estos resultados coinciden de nuevo con los presentados por Frouzova *et al.*, 2005 y Kubecka *et al.*, 2009.

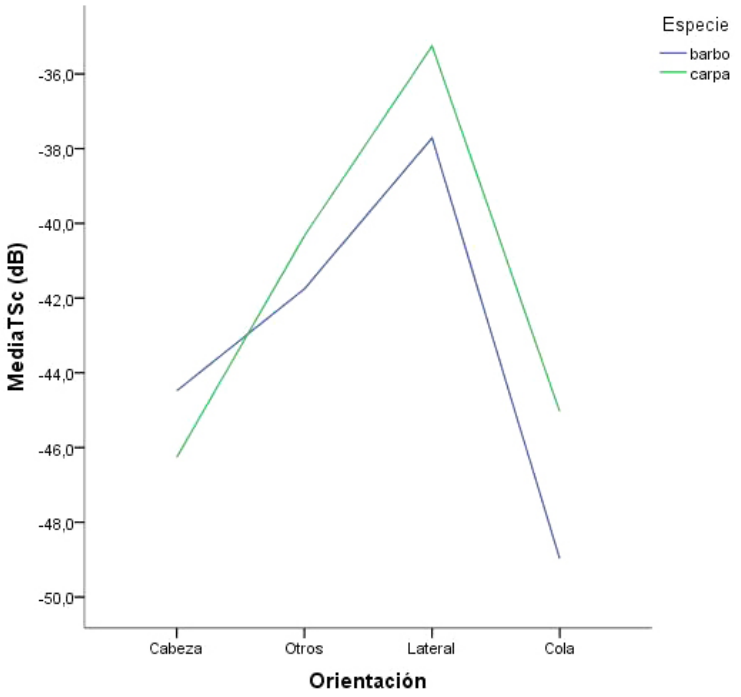


Figura 6. Representación gráfica de la variación del TSc (dB) registrado para cada una de las especies insonificadas: barbo sp. (azul) y carpa sp. (verde), a través de las diferentes orientaciones posibles de cada individuo.

CONCLUSIONES

El diseño experimental desarrollado para la insonificación de las especies barbo y carpa nadando en libertad, ha producido resultados válidos y de alta calidad para el estudio de la firma acústica de estas dos especies.

La longitud de los ejemplares es el factor más relacionado con las variaciones en la respuesta acústica, presentando un ajuste lineal positivo y significativo para las especies estudiadas.

Los aspectos próximos a la orientación paralela del pez con respecto al plano sonoro, aspectos laterales, provocan los valores más altos de TSc, mientras que los aspectos de cabeza y cola provocan los valores más bajos para el TSc en ambas especies.

Las diferencias entre especies deben ser estudiadas con un mayor número de tamaños para poder realizar afirmaciones concluyentes. El reto futuro de las investigaciones hidro-acústicas está en la combinación de frecuencias para la discriminación entre especies.

BIBLIOGRAFÍA

– AXENROT, T., DIDRIKAS, T., DANIELSSON, CH., HANSSON, S., 2004. Diel patterns in pelagic fish behavior and distribution observed from a stationary, bottom-mounted, and upward-facing transducer. ICES *J. Mar. Sci.* 61 (7), 1100–1104.

– BALK AND LINDEM, 2009. Sonar4 and Sonar5 post processing systems, Operator manual version 5.9.9, 438p. Lindem Data Acquisition Humleveien 4b. 0870 Oslo Norway.

– BLAXTER, J.H.S., BATTY, R.S., 1990. *Swimbladder "behaviour" and Target strength. Rapp. P.*-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 189,233–244.

– CEN, 2005. EN 14 757, CEN TC 230, Water Quality-Sampling of Fish with Multi-mesh Gillnets.

– CEN, 2006. EN 14 962, CEN TC 230, Water Quality-Guidance on the Scope and Selection of Fish Sampling Methods.

– Editorial, 2009. ES 60, La ecosonda que da respuesta a la captura de inmaduros en la pesca de cerco. *A Fondo*. Nº 2. Simrad Spain SL. 4-9.

– Editorial, 2009. The true picture of a lake or reservoir fish stock: a review of needs and progress. *Fish. Res.* 96, 1-5.

– FROUZOVA, J., KUBECKA, J., 2004. Changes of acoustic target strength during juvenile perch development. *Fish. Res.* 66, 355–361.

– FROUZOVA, J., KUBECKA, J., BALK, H., FROUZ, J. 2005. Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters. *Fish. Res.*, 75: 86-96.

– KUBECKA, J, FROUZOVA, J, BALK, H., CECH, M., DRASTIK, V., PRCHALOVÁ, M., 2009. Regressions for conversion between target strength and fish length in horizontal acoustic surveys. In: Papadakis, J.S., Bjorno, L., (Eds), Underwater acoustic measurements, Technologies and Results. Foundation for Research and Technology, Heraklion, Greece, ISBN: 978-960-98883-2-5:1039-1044.

– KUBECKA, J., 1994. Simple model on the relationship between fish acoustical target strength and aspect for high-frequency sonar in shallow water. *J. Appl. Ichthyol.* 10, 75–81.

– KUBECKA, J., DUNCAN, A., 1998. Acoustic size vs. real size relationships for common species of riverine fish. *Fish. Res.* 35, 115–125.

– LILJA, J., MARJOMAKI, T.J., RIIKONEN, R., JURVELIUS, J., 2000. Sideaspect target strength of Atlantic salmon (Salmo salar), brown trout (Salmo trutta), whitefish (Coregonus lavaretus), and pike(Esox lucius). *Aquat. Living Resour.* 13, 355–360.

– LOVE, R.H., 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *J. Acoust. Soc.*, Am 62 (6), 1397–1403.

– TORGERSEN, T., KAARTVEDT, S., 2001. *in situ* swimming behaviour of individual mesopelagic fish studied by split-beam echo target tracking. ICES *J. Mar. Sci.* 58 (1), 346–354.

– TUSER, M., KUBECKA, J. FROUZOVA, J., JAROLIM, O., 2009. Fish orientation along the longitudinal profile of the Rimov reservoir during daytime: Consequences for horizontal acoustic surveys. *Fish. Res.* 96, 23-29.

Artículos

"Mare Nostrum plena vitae". Descubriendo en el Mediterráneo nuevos *hotpoints* de biodiversidad a bordo del Galeón Andalucía.

Daniel González-Paredes[1,2]

[1] Fundación Nao Victoria.

[2] Asociación Hombre y Territorio.

daniperilla@gmail.com

RESUMEN

El Mar Mediterráneo representa menos del 1% de la superficie global oceánica, pero nuestro mar, el Mare Nostrum, es único gracias a la gran biodiversidad y el alto nivel de especies endémicas que alberga. Sin embargo, en las últimas décadas las presiones que han sufrido estos ecosistemas han hecho que se vean gravemente amenazados. Actualmente, solo el 4% del Mar Mediterráneo está bajo protección, por lo que la superficie marina protegida no representa la totalidad de la biodiversidad y hábitats mediterraneos, y sigue aún muy por debajo del objetivo que planteo para 2012 la comunidad internacional, en la Convención sobre la Diversidad Biológica, de proteger al menos el 10% de la superficia marina global y crear una red de Areas Marinas Protegidas representativa. Siguiendo pues, las prioridades de conservación de los ecosistemas marinos mediterráneos, este proyecto tiene como objetivo determinar nuevas zonas en el Mar Maditerraneo de especial interes por la biodiversidad y los procesos ecológicos que albergan, las cuales serían suceptibles a ser conservadas y protegidas. Dicho proyecto se desarrolló a bordo del Galeón Andalucía en su travesia por el Mar Mediterraneo durante 2010.

Palabras clave: Mar Mediterráneo, AMP (áreas marinas protegidas), áreas claves, especies claves, Galeón Andalucía.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en *"El Planeta Azul"*. Las grandes masas de agua salada cubren más del 70% de la superficie de la Tierra y poseen aproximadamente el 90% de la biomasa viviente del planeta. Los océanos proporcionan oxígeno y proveen inunmerables recursos naturales además de regular el clima y la temperatura global. A pesar de la capacidad de los océanos para recuperarse y autoregenerarse ante tales amenazas; la salud, la productividad y la biodiversidad del medio marino se estan viendo gravemente amenazadas por diversos factores, entre ellos, las actividades humanas.

Un motivo de especial preocupación surge por la falta de protección de los ecosistemas marinos. La comunidad internacional en la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB, 2006) planteó como objetivo para el año 2012 la protección de al menos el 10% de la superficia marina global. La UICN define como Área Marino Protegida; *"Cualquier*

área intermareal o submareal, junto con las aguas que la bañan y la flora y fauna asociadas, y sus rasgos históricos y culturales, que ha sido designada por la legislación para proteger parcial o totalmente el medio que alberga"(Kelleher, 1999). Por lo que el establecimiento de una Red de Áreas Marinas Protegidas (AMP) se conviertiría en herramienta vital para la protección y conservación de la biodiversidad de los océanos. Sin embargo, actualmente sólo el 1% de nuestros océanos están protegidos.

El Mar Mediterráneo se ha definido como un punto caliente de biodiversidad para las prioridades de conservación, debido al alto nivel de especies endémicas que alberga, entre un 20% y un 30% de especies amenazadas, y también a causa de la presión humana a la que ha estado sometido durante siglos. En comparación con otras regiones del mundo y teniendo en cuenta sus pequeñas dimensiones (menos del 1% de la superficie oceánica global), el Mar Mediterráneo contiene un 7% de todas las especies marinas conocidas y una variedad de formas de vida únicas (Abdulla *et al.*, 2008).

Foto 1. Galeón Andalucía.
Autor: Fundación Nao Victoria.

Consciente de ello, los países del entorno mediterráneo han reconocido en varios tratados internacionales la necesidad y compromiso de aumentar el área de protección marina dentro de sus jurisdicciones para reducir la pérdida de biodiversidad. El Convenio de Barcelona (BC, 1995) trató las prioridades de conservación estableciendo Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo. Sin embargo, solo el 4% (97.410 km^2) de la superficie del Mar Mediterraneo esta bajo protección, donde el Pelagos Sanctuary (87.500 km^2 en aguas de Francia, Italia y Monaco) representa mas del 90% de esta superficie protegida (Abdulla *et al.*, 2008).

En adición, la distribución de las AMPs en el Mediterraneo no es uniforme, en su mayor parte éstas se ubicadan en la vertiente norte (europea) y casi siempre dentro de aguas costeras bajo jurisdicción nacional, por lo que la superficie marina protegida no es completamente representativa de los habitats y la biodiversidad del Mar Mediterraneo. Por este motivo, cobrán especial interes aquellas AMPs que se establecen en mar abierto, como el Pelagos Sanctuary, debido a las grandes areas que abarcan, la representatividad de los ecosistemas que contienen y la eficiente conservación de la biodiversidad que albergan. Pero a su vez, son estas AMPs en mar abierto las que necesitan de un esfuerzo multilateral entre los diferentes paises involucrados para desarrollar una gestión y un plan de manejo coherente y eficaz.

Cabe destacar la especial situación acerca de las zonas de jurisdicción de los distintos países dentro del Mar Mediterráneo (Fig. 1). Ningún punto marítimo dentro del Mediterráneo se localiza a más de 200 millas náuticas de cualquier costa. Por lo tanto, la mayoría de los países mediterráneos no han declarado la EEZ (Zona Económica Exclusiva) dentro de las 200 millas náuticas pertenecientes a su jurisprudencia (Suárez de

Vivero, 2007), pasando a ser aguas internacionales bajo ley UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea). Como resultado éstas son consideradas como mar abierto y se extienden, en algunos casos, dentro de las 12 millas náuticas de las aguas territoriales pertenecientes a los países costeros (a excepción de Grecia y Turquía con 6 millas náuticas de aguas territoriales).

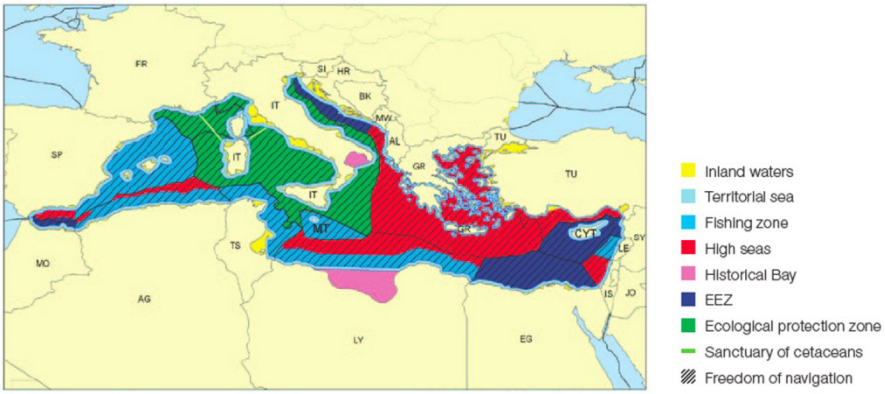


Fig 1. Zonas de jurisdicción marítima dentro del Mar Mediterráneo, (Suárez de Vivero, 2007).

El objetivo de este proyecto es determinar aquellas zonas en el Mar Maditerraneo de especial interes por su biodiversidad y los procesos ecológicos que albergan (Hyrenbach *et al.*, 2000). Los resultados obtenidos son indicios de gran utilidad para promover y desarrollar estudios con el fin de determinar AMPs en el Mar Mediterraneo. Asistiendo de esta manera al objetivo general de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza); "Establecimiento de una red coherente de áreas marinas protegidas que represente ecológica y socialmente al Mar Mediterráneo y a sus poblaciones".

Este proyecto se realizó en colaboración con la Fundación Nao Victoria, entidad sin ánimo de lucro, a bordo del Galeón Andalucía durante los meses de Marzo y Abril de 2010, en los cuales el navío cruzó el Mar Mediterraneo (Fig. 2). La metodología utilizada fue adaptada al tipo de navegación y travesía que realizó el Galeón Andalucía, desde Sevilla (España) a Shangai (China) con motivo de la presencia de dicha embarcación en la Exposición Universal de Shangai, 2010.

Fig. 2. Travesía Galeón Andalucía, (Fundación Nao Victoria, 2010).

METODOLOGÍA

El objetivo de este proyecto es determinar "áreas claves" en el Mar Maditerraneo, aquellos ***hotpoints*** o zonas de especial interes por la biodiversidad y los procesos ecológicos que albergan, y las cuales serían suceptibles a ser protegidas. Dichas áreas deben ser seleccionadas con criterios objetivos y estandarizados como herramientas útiles para la conservación de la biodiversidad y donde se pueda realizar una gestión y manejo eficaz y coherente de sus recursos naturales.

Para la realización de este estudio se seleccionaron diversas especies claves de acuerdo con sus estatus de conservación y su inminente necesidad de conservación según; Directiva Aves (Directiva 2009/147/CE), Lista Roja de UICN (UICN, 2010) y ACCOBAMS (Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006).

Foto 2. Charrán sombrío (*Onychoprion fuscatus*). *Autor*: Daniel González.

Foto 3. Tortuga marina verde (*Chelonia mydas*). *Autor*: David Prieto.

Foto 4. Delfín común (*Delphinus Delphis*). *Autor*: Daniel González.

Tabla 1. Especies de seleccionadas del Anexo I de la Directiva Aves (2009/147/CE). Incluye aquellas especies de aves consideradas como amenazadas y/o sensibles en el ámbito de la Unión Europea, así como a las especies que regularmente migran por el territorio de la Unión Europea.

ESPECIES DE AVES	NOMBRE CIENTÍFICO	ESTATUS UICN*	REGISTRADAS
Alcatraz	*Morus bassanus*	LC	√
Arao común	*Uria aalge*	LC	
Cormorán moñudo mediterráneo	*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*	LC	√
Gaviota patiamarilla	*Larus michahellis*	LC	√
Gaviota cabecinegra	*Larus melanocephalus*	LC	
Gaviota picofina	*Larus genei*	LC	
Gaviota de Audouin	*Larus audouinii*	NT	√
Charrán patinegro	*Sterna sandvicensis*	LC	
Charrán común	*Sterna hirundo*	LC	√
Charrancito común	*Sterna albifrons*	LC	√
Pagaza piconegra	*Gelochelidon nilotica*	LC	√
Paíño pechialbo	*Pelagodroma marina*	LC	
Paíño europeo	*Hydrobates pelagicus*	LC	√
Paíño de Madeira	*Oceanodroma cas*	LC	
Pardela balear	*Puffinus mauretanicus*	CR	
Pardela pichoneta	*Puffinus puffinus*	LC	√
Pardela mediterránea	*Puffinus yelkouan*	LC	√
Pardela chica	*Puffinus assimilis*	LC	
Petrel de Bulwer	*Bulweria bulwerii*	LC	√
Pardela cenicienta	*Calonectris diomedea*	LC	√

Tabla 2. Especies de tortugas marinas presentes en el Mediterráneo, UICN.

ESPECIES DE TORTUGAS MARINAS	NOMBRE CIENTÍFICO	ESTATUS UICN*	REGISTRADAS
Tortuga Laúd	*Dermochelys coriacea*	CR	
Tortuga Boba	*Caretta caretta*	EN	√
Tortuga Verde	*Chelonia mydas*	EN	√

Tabla 3. Especies de cetáceos presentes en el Mediterráneo. Listado ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area).

ESPECIES DE CETÁCEOS	NOMBRE CIENTÍFICO	ESTATUS UICN*	REGISTRADAS
Orca	*Orcinus orca*	CR	
Cachalote	*Physeter macrocephalus*	EN	
Delfín común	*Delphinus delphis*	EN	√
Delfín mular	*Tursiops truncatus*	VU	√
Delfín listado	*Stenella coeruleoalba*	VU	√
Rorcual común	*Balaenoptera physalus*	DD	
Calderón común	*Globicephala melas*	DD	
Calderón gris	*Grampus griseus*	DD	
Zifio de Cuvier	*Ziphius cavirostris*	DD	√

*Estatus criteria UICN; CR: En Peligro Critico de Extinción, EN: En Peligro de Extinción, VU: Vulnerable a Extinción, DD: Datos Deficientes.

El primer paso para inventariar las "áreas claves" es conocer dónde se encuentran las especies seleccionadas a estudio en el mar. Responder a esta pregunta no ha sido sencillo, dada la dinamicidad espacio-temporal de los hábitats, la gran superficie del ámbito de estudio, los ciclos vitales y migratorios de las especies claves y las dificultades de trabajar en mar abierto. De ahí el gran esfuerzo que ha sido necesario para la colecta de datos. Éste se ha centrado en obtener información directa sobre las especies claves e indirecta para la caracterización de su hábitat.

Foto 5. Censos desde la cofa de trinquete (20 m. de altura).
Autor: Fundación Nao Victoria.

Foto 6. Banda de estribor del Galeón Andalucía.
Autor: Fundación Nao Victoria.

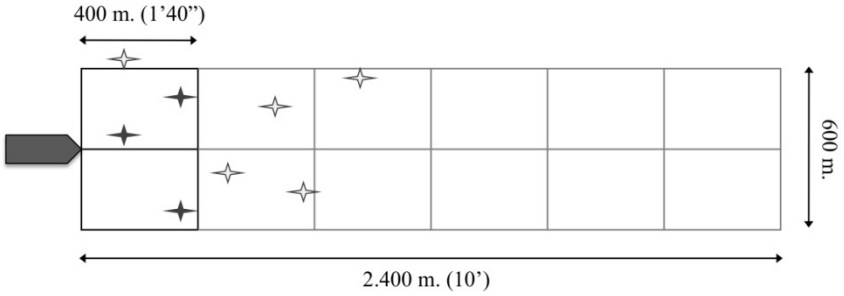
Para la obtención de información sobre la distribución y abundancia de las especies claves se realizaron censos visuales además de avistamientos circunstanciales. Para ello, se ha seguido una de las metodologías más extendidas para censos desde embarcaciones, propuesta inicialmente para aves por Tasker (Tasker *et al.*,1984) y ampliamente adoptada

en el ámbito europeo (ESAS, BirdLife, 2007). Se realizaron censos por transecto de mínimo 4 horas/día. Desde una altura de 20 msnm (cofa del trinquete del Galeón Andalucía) se contabilizaron las especies claves observadas en una banda de censo de 600 metros, cubriendo un radio de 180º desde la proa del Galeón Andalucía, mientras el navío mantiene rumbo y velocidad constantes. Los datos se agruparon en unidades de tiempo (10 min.), de forma que a cada unidad le corresponde una posición geográfica de referencia y un valor de densidad para cada especie clave. Estos censos permiten referir las observaciones a un área de prospección conocida, y por tanto estimar densidades (individuos/km^2), sin embargo ésta debería tratarse mejor como una medida relativa (útil para comparaciones intra- e interestudios) y no absoluta, pues pueden haber numerosos sesgos que alejen ésta estima de "densidad" de la densidad real.

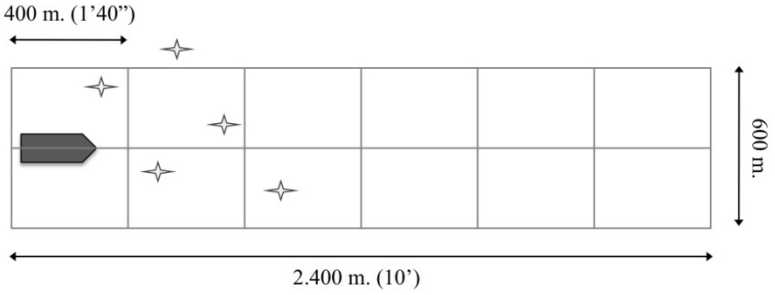
Se aplicó una corrección basada en conteos instantáneos o snap-shots (Tasker *et al.*, 1984), de cara a evitar el sesgo creado por posibles flujos o movimientos de los individuos (Fig. 3). Esta corrección consiste en incluir en el transecto únicamente a aquellos individuos en movimiento que se encuentren dentro de la banda de censo en instantes determinados, decididos a priori y repartidos de forma regular dentro de unidades de tiempo. Si un individuo en movimiento se observa en la banda de censo pero no coincide con uno de esos instantes, no se la considera "dentro de transecto". Esto nos permite obtener una especie de "fotografías instantáneas" del transecto a lo largo de su recorrido.

Fig. 3. Metodología "Snap-Shot" (Tasker *et al.*, 1984). El navío, a una velocidad de 8 nudos, recorre 2.400 m. en 10 minutos (unidad de tiempo seleccionada para los transectos). Las retículas de campo visual usadas para realizar los snap-shots son de 600 m. de ancho y 400 m. de largo. Estas retículas serían cruzadas en 1'40" a una velocidad constante de 8 nudos.

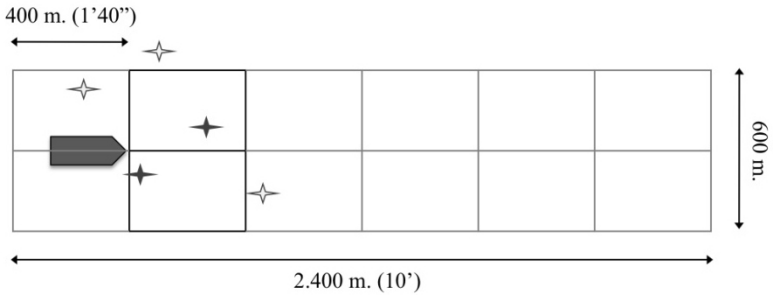
A. En el instante t = 0 se realiza la primera instantánea o snap-shot, se contabilizan todos aquellos individuos en movimiento que se encuentran dentro de la primera retícula de la banda de censo (n=3).



B. En el instante t = 1' nos encontramos entre dos puntos de snap-shots, ningún individuo en movimiento se contabiliza (n=0).



C. En el instante t = 1'40" realizamos la segunda instantánea o snap-shot, contabilizamos todos los individuos en movimiento que se encuentren en la segunda retícula de la banda de censo (n=2).



Durante los trancestos se registraron también aquellos comportamientos o conductas relevantes de los individuos observados, siguiendo metodología adaptada propuesta por Camphuysen & Garthe (Camphuysen & Garthe, 2004). Además, se recopiló toda información *in situ* sobre los factores que pudieran influir sobre la presencia de dichos individuos (ej; clima, meteorología, vientos, corrientes, navegación, presencia de otras embarcaciones, etc.).

La información sobre el hábitat marino también juega un papel importante a la hora de entender los patrones de distribución de las especies claves. Se seleccionaron distintas variables a la hora definir las "áreas claves". Éstas fueron divididas en estáticas y dinámicas. Las primeras son aquellas que están relacionadas con atributos topográficos del medio y son estables en el tiempo (Batimetría, Distancia a costa y al talud continental. Fuente; ETOPO/NOAA). Las segundas varían a distintas escalas espaciales y temporales, y son las que confieren una particular dificultad al estudio del medio marino (Concentración de clorofila (Chl-a) y Temperatura del mar en superficie (SST). Fuente; MODIS/NOAA).

Para la modelización del hábitat se ha combinado la información de la distribución de las especies claves (censos) con las variables estáticas y dinámicas, identificando así las "áreas claves". Los modelos de hábitat se han elaborado por separado para cada especie. Dichos modelos se han basado en datos de presencia, mediante el método de Máxima Entropía MAXENT (Phillips *et al.*, 2006). Son modelos de tipo cualitativo, de forma que se obtienen valores de calidad de hábitat entre 0 (muy pobre) y 1 (muy adecuado). Estos valores se asignan a una retícula que cubre la totalidad del ámbito de modelización (es decir, el área geográfica sobre la que se aplica el modelo), de forma que a cada celda de dicha retícula se le asigna un valor de calidad de hábitat. Las retículas utilizadas son de 4' de latitud x 4' de longitud (≈ 7,5 x 7,5 km).

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

El Galeón Andalucía atravesó el Mar Mediterráneo entre el 2 de Marzo y el 22 de Abril de 2010, en el transcurso de este periodo completó 2.278 millas náuticas. En total se han realizado 250 unidades de censo (10 min.). Se registraron 145 avistamientos con un total de 703 individuos avistados, de los cuales; el 80,6% pertenecen a aves, 11,3% a cetáceos y 8,1% a tortugas marinas.

En los siguientes mapas se muestran solo las áreas consideradas relevantes por la densidad poblacional observada junto con la modelización de hábitat ("áreas claves"), siguiendo la metodología y criterio anteriormente expuestos (Fig. 4).

Fig 4. Mapa de referencia de las áreas claves seleccionadas.

Aunque los avistamientos fueron continuos y numerosos, solo estas dos áreas merecen ser destacadas por la alta densidad poblacional que presentan.

Se avistaron numerosas tortugas marinas bobas (*Caretta caretta*) frente a las costas de Argelia (20 millas aprox.) (Fig. 5), con una densidad relativa máxima de 18 individuos/km^2. Este área se encuentra dentro de las rutas migratorias de tortuga boba dentro del Mar Mediterráneo (Casale *et al.*, 2007). Se estima también pueda ser una área de forrajeo de subadultos de tortuga boba. Las tortugas bobas, en el estadío subadulto, suelen agregarse en densos grupos que se desplazan a zonas neríticas a alimentarse. Estos grupos quedan estables en el área y con cierta fidelidad debido a las características tróficas y abióticas favorables que en ella encuentran (Musick & Limpus, 1997).

En la actualidad, solo existe una area marina protegida en Argelia; AMP Islas Habibas. Sin embargo existen propuestas para otras 5 nuevas AMPs (MedPAN, 2012), una de ellas, AMP Tipaza, a tan solo 35 millas al SE del "area clave" que se describe para tortuga boba.

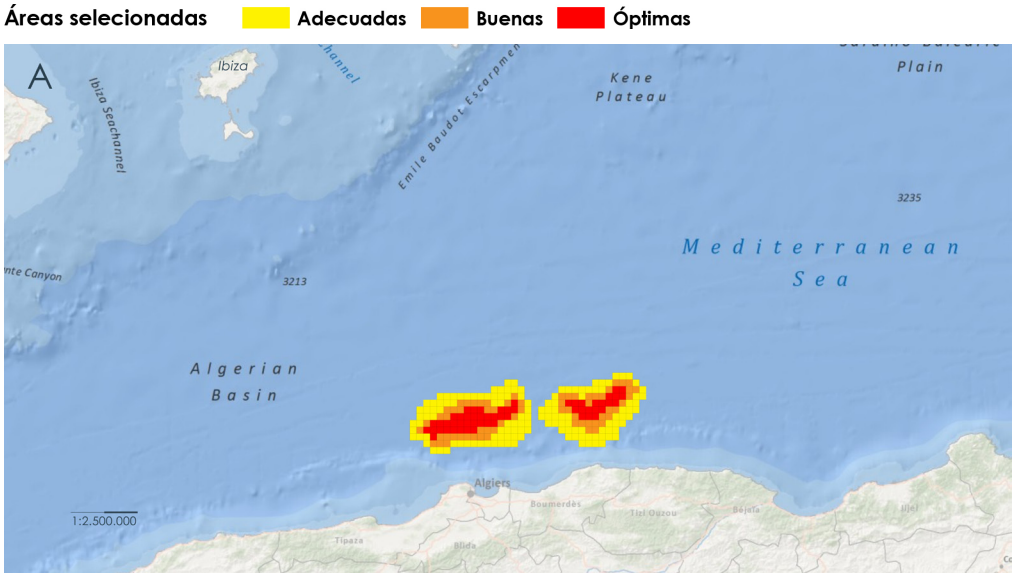


Fig 5. Área clave para tortuga boba (*Caretta caretta*).

Centenares de pardelas cenicientas (*Calonectris diomedea*) fueron observadas tanto volando, como posadas en el agua formando balsas, o alimentándose junto a pesqueros en faena, esta zona es un importante caladero tunecino (15 millas aprox. de la costa) y zona de alimentación y anidación de aves marinas (Fig. 6). Las pardelas cenicientas son aves marinas pelágicas, desarrollan la mayor parte de su ciclo vital en mar abierto, se alimenta y descansa junto a sus congéneres, formando grupos compactos que flotan en la superficie, denominados balsas, solo abandonan el mar abierto para reproducirse y anidar en acantilados costeros. Precisamente la mayor densidad relativa observada de 320 individuos/km^2, corresponde a las balsas de pardelas cenicientas (160 parejas aprox.) que se localizan próximas a las Islas de Zembra y Zembretta. Estas dos islas tunecinas, se estima, que alberguen una colonia de pardela cenicienta de 20.000 parejas reproductoras (BirdLife International, 2011). Ambas islas conforman la ya existente AMP Islas de Zembra y Zembretta, y quedaría inserta dentro de la "área clave" propuesta, en su extremo oriental. A 35 millas E del "área clave" se localiza la AMP Archipiélago de la Galite.

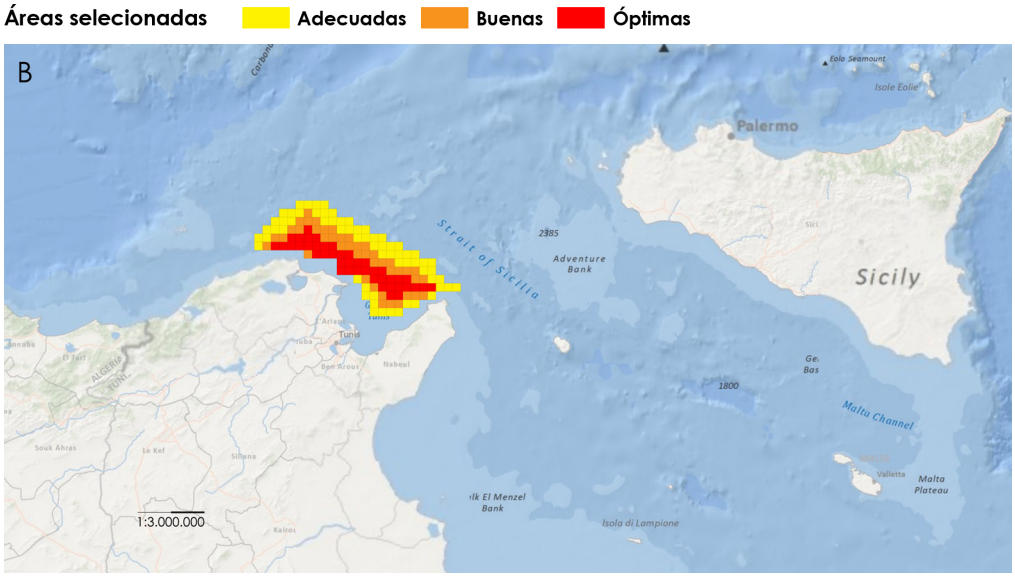


Fig 6. Área clave para pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*).

En este último censo cabe destacar que se avistaron abundantes gaviotas patiamarillas (*Larus michahellis*), seguidas en número por pardelas mediterráneas (*Puffinus yelkouan*) y gaviotas de audouim (*Larus audouinii*).

Acorde con los datos presentados, estas dos "áreas claves" representarían zonas de especial interés para la distribución poblacional y hábitat de la tortuga boba y la pardela cenicienta; y por lo tanto estas áreas deberían ser consideradas para su conservación y protección.

Foto 7. Tortuga boba (*Caretta caretta*).
Autor: Melisa Morales.

Foto 8. Pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*).
Autor: Xavier Martínez.

Solo con el esfuerzo conjunto de los países implicados en la designación de estas áreas, en mar abierto, de especial interés por la biodiversidad y los procesos ecológicos que albergan, y el apoyo de organismos e instituciones internacionales será posible el desarrollo de una red de Áreas Marinas Protegidas que represente ecológica y socialmente los hábitats, las especies y las poblaciones del Mar Mediterráneo.

El proyecto en si plantó retos a la hora de estudiar un hábitat dinámico como es el Mar Mediterráneo, siendo algunas de las especies monitoreadas altamente migratorias y donde delimitar "áreas claves" y considerarlas como estables en el espacio y tiempo se

hace complejo. Este estudio asume un importante sesgo de datos a escala temporal, pues los censos desde el Galeón Andalucía solo se pudieron realizar en los meses de marzo y abril de 2010, durante la travesía del navío hacia Shanghái (China). Estos mismos censos deberían realizarse en distintas épocas del año, para así poder contrastar los datos, ya que los estudios se basan en especies migratorias dentro de un hábitat dinámico.

De igual manera se derivan otras carencias por la dificultad de trabajar en alta mar y bajo un proyecto científico adaptado a una travesía ya diseñada y no viceversa, como pueden ser; transestos lineales y no en zig-zag, limite de horas de avistamiento y número de observadores.

Pero sin duda la oportunidad que ofreció el Galeón Andalucía para la realización de este proyecto es única. Este navío constituye una plataforma científica excepcional para la realización de investigaciones de estas características, y no solo por la extensa travesía, sino por las condiciones y tipología de navegación que en él se desarrollan, rememorando de esta manera a los antiguos marineros del s.XVII que surcaron mares llenos de vida.

Foto 9. Galeón Andalucía. *Autor*: Fundación Nao Victoria.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no hubiera sido posible sin la iniciativa de la Fundación Nao Victoria al hacer realidad este sueño flotante que es el Galeón Andalucía.

Agradecer al capitán de la nave Gonzalo de la Cruz, a los directores del proyecto Ignacio Fernández Vial y Joaquín Garrido, y como no, a todos aquellos compañeros y compañeras hermanos de la mar, que hicieron navegar la nave milla a milla gracias no solo al viento, si no a las ilusiones de toda una tripulación; la Tripulación del Galeón Andalucía.

Mi reconocimiento también a Alfonso Rabadán, Carlos Camacho y Ángel Mejías por aportar las primeras ideas bases para este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

– ABDULLA, A., GOMEI, M., MAISON E., PIANTE C., 2008. Status of Marine Protected Areas in the Mediterranean Sea. IUCN, Málaga and WWF, France. 152 pp.

– BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2011. Important Bird Areas factsheet: Zembra and Zembretta Islands. <http://www.birdlife.org.>

– CAMPHUYSEN, C.J., GARTHE, S., 2004. Recording foraging seabirds at sea: standardised recording and coding of foraging behaviour and multispecies foraging associations. *Atlantic Seabirds* 6:1–32.

– CASALE, P., FREGGI, D., BASSO, R., VALLINI, C., ARGANO, R., 2007. A model of area fidelity, nomadism, and distribution patterns of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea. *Marine Biology* 152:1039–1049.

– CONVENTION FOR THE PROTECTION OF THE MARINE ENVIRONMENT AND THE COASTAL REGION OF THE MEDITERRANEAN AND ITS PROTOCOLS, Barcelona,1995. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan.

– CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. COP 8, Eight Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the CBD. Curitiba, Brazil. 20-31 March 2006. Decisión VII/15: Framework for monitoring implementation of the achivement of the 2010 target and integration of targets into the thematic programmes of work. Annex 4. UNEP, 2006.

– DIRECTIVA AVES, 2009. Directiva 2009/147/CE del parlamento europeo y del consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres, Diario Oficial de la Unión Europea (IV) 26/01/2010: L20/7.

– HYRENBACH, K.D., FORNEY, K.A., DAYTON, P.K., 2000. Marine protected areas and ocean basin management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 10: 437-458.

– IUCN, 2010. 2010 IUCN Red List of Threatened Species.

– KELLEHER, G., 1999. Guidelines for Marine Protected Areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xxiv, 107pp.

– MUSICK J.A., LIMPUS C.J., 1997. Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. In: Lutz PL, Musick JA (eds) The biology of sea turtles. CRC, Boca Raton, FL, 137–163.

– PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P., SCHAPIRE R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.

– REEVES, R., NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., 2006. The status and distribution of cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain. 137 pp.

– SUÁREZ DE VIVERO, JUAN L., 2007. Atlas de la Europa marítima. Jurisdicciones, usos y gestión. Barcelona: Ediciones del Serbal, p. 39.

– TASKER, M.L., HOPE JONES, P., DIXON, T., BLAKE B.F., 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and suggestion for a standardized approach. *Auk*, 101: 567-577.

FUENTES DE INTERNET

– ESAS/BirdLife. 2007. Metodología para censar aves por transectos en mar abierto. <http://www.seo.org/media/docs/MetodologíaTransect os1.pdf>

– ETOPO/NOAA. The National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>

– Fundación Nao Victoria, 2010. Galeón Andalucía. <http://guadalquivirriodehistoria.es/>

– MedPAN, 2012. The network of managers of Marine Protected Areas in the Mediterranean. The Directory of Mediterranean Marine Protected Areas by country; Algeria. <www.medpan.org >

– MODIS/NOAA. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>

Proyectos de investigación-conservación

Resolviendo una incógnita biogeográfica, el caso de la Rand Flora afro-mediterránea.

Mario Mairal[1,2], Andrea Sánchez-Meseguer[1]

[1] Departamento de Biodiversidad y Conservación, Real Jardín Botánico-CSIC, Madrid.

[2] Correspondencia: Mario Mairal (mmairal@rjb.csic.es)

Plaza de Murillo 2, 28014-Madrid, SPAIN. Phone: +34 91 4203017; Fax: +34 914200157.

RESUMEN

Existe un enigmático patrón florístico que ha intrigado a científicos y naturalistas desde hace décadas. Consiste en una distribución de linajes de plantas emparentados que se encuentran distribuidos en regiones florísticas alrededor del continente africano, y separados por áreas de clima hostil. En biogeografía este tipo de distribuciones fragmentadas se conocen como disyunciones.

Este patrón de distribución florística en forma de anillo, se conoce como Rand Flora.

Dos hipótesis se han postulado para explicar este patrón: 1) Una serie de acontecimientos climáticos y geológicos habrían extirpado una flora ancestral de parte de su área de distribución, quedando así relegada a refugios alrededor de África. 2) Las disyunciones observadas son el resultado de recientes eventos de dispersión a larga distancia, con una posterior diversificación en las nuevas áreas.

El objetivo del proyecto es entender los factores históricos que han configurado este patrón florístico. Se aborda el análisis a partir del estudio comparado de varios grupos de plantas que muestran dicha distribución, usando técnicas filogenéticas moleculares, datación y nuevos métodos biogeográficos.

En el presente trabajo se hace una introducción al patrón conocido como Rand Flora. Se enumeran sugerentes ejemplos para interpretar las distribuciones geográficas. Se presentan los estudios de dos casos de especial relevancia, relacionados con dicho patrón; el caso Canarina y el caso Hypericum. Además se exponen y discuten los primeros resultados del proyecto.

Palabras clave: biogeografía, *Canarina*, dispersión, *Hypericum*, Rand flora, vicarianza.

INTRODUCCIÓN

Existe una distribución enigmática de especies en los márgenes del continente africano, conocida como patrón Rand Flora. Dicho patrón (Figura 1) relaciona las floras de regiones tan distantes como Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde), sur de Arabia, este de África y Sudáfrica (Le Brun 1971; Bramwell 1985; Andrus *et al.* 2004; Sanmartín *et al.* 2010). Se ha propuesto que varios linajes de plantas muestran este patrón de distribución en base a estudios morfológicos y análisis filogenéticos moleculares. En la Tabla 1 se muestra una relación de grupos que ejemplifican esta distribución, aunque podríamos enumerar numerosos linajes más con distribuciones continentales este-oeste (*Parolinia*, *Tolpis*, *Chrysoprenanthes*, *Euphorbia*) u otras plantas macaronésicas con parientes en Sudáfrica (*Justicia*, *Phyllis*,…).

Proyectos de investigación-conservación

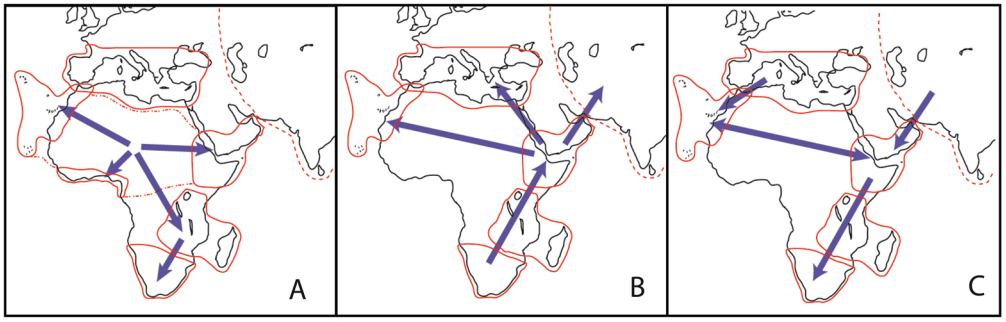
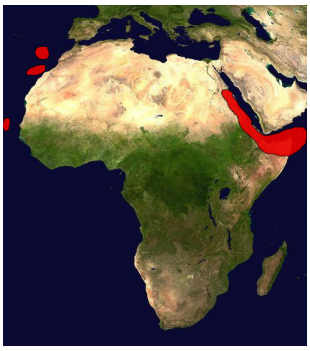
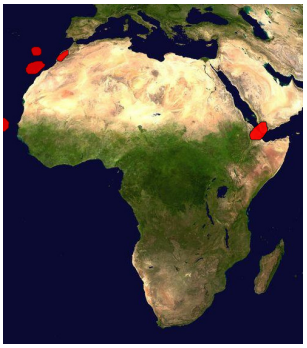
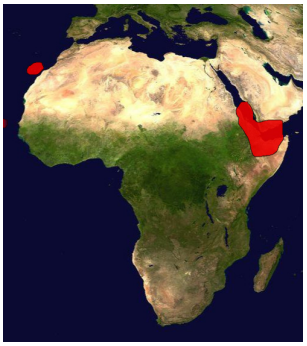
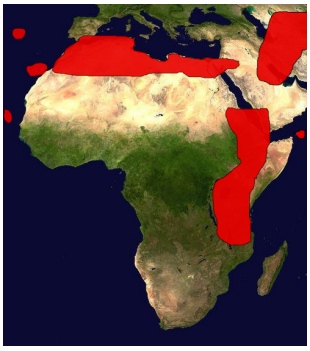
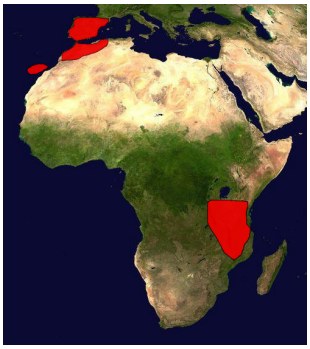
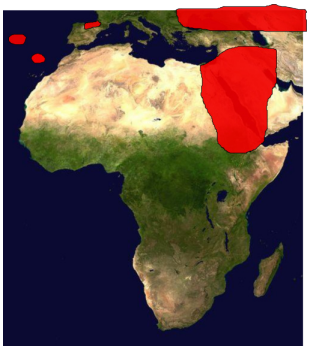
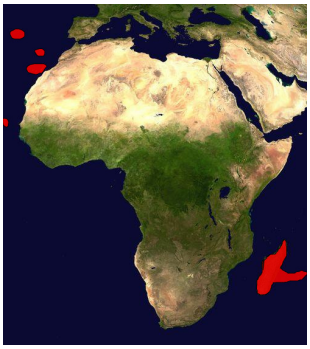
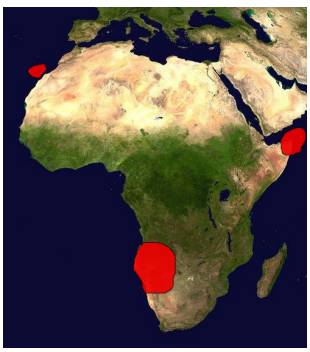


Figura 1. Hipótesis más importantes para explicar el patrón de distribución Rand Flora. A) Vicarianza – los cambios climáticos han producido la fragmentación de una flora continua en el norte de África. B) Dispersión hacia el norte – el patrón se formó por la inmigración de linajes desde el sur de África hacia el norte, y desde ahí hacia el oeste. C) Dispersión hacia el sur – los linajes se dispersaron desde el Mediterráneo y desde Asia hacia el sur a través del este de África. Figura modificada de Sanmartin *et al.* (2010).

Tabla 1. En esta tabla se enumeran y describen algunos linajes que presentan el patrón de distribución Afro-mediterránea conocido como la Rand Flora. Todas las fotos y figuras de la tabla realizadas por M. Mairal Pisa.

Dracaena tamaranae (Canarias)	***Dracaena*** (Asparagaceae). Los legendarios dragos fueron uno de los primeros ejemplos conocidos del patrón. Mientras que la especie *Dracaena draco* aparece en Macaronesia y oeste de África, habría que viajar hasta el este de África o a la isla de Socotra para encontrar cuatro especies más del género (Mwachala, 2005).	
Aeonium gorgoneum. Cabo Verde.	***Aeonium*** (Crassulaceae). Los Bejeques o veroles del género *Aeonium* aparecen en su mayoría distribuidos por la región macaronésica, pero también hay algunas especies en el Éste de África. Son un buen ejemplo de radiación adaptativa en Canarias, con alrededor de 38 especies, 2 especies más en Madeira, 1 en Cabo Verde y 1 en Marruecos. Sólo dos especies del género aparecen en el Este de África (Mort *et al.*, 2002).	
Campylanthus glaber (Cabo Verde)	***Campylanthus*** (Plantaginaceae). El romero marino (*Campylanthus salsoloides*) endémico de Canarias, y *Campylanthus glaber* endémico de Cabo Verde poseen al menos una docena de representantes del mismo género en el Cuerno de África y Oeste de Pakistán (Thiv *et al.*, 2010).	

 Campanula jacobaea (Cabo Verde)	***Campanula*** (Campanulaceae). En una de las tribus de las campanillas del género Campanula se observa una disyunción entre islas. *Campanula jacobea* aparece en el archipiélago de Cabo Verde, mientras que 7000 km al este, en la isla de Socotra, aparece Campanula balfouri (Roquet *et al.*, 2009).	
 Adenocarpus foliolosus (Canarias)	***Adenocarpus*** (Fabaceae). Un grupo monofilético compuesto por las 3 especies canarias (*A. foliolosus, A. ombriosus* y *A. viscosus*) y una mediterránea (A.complicatus), estaría relacionado con la única especie del género que aparece en el Este de África (*Adenocarpus manii*) (Percy y Cronck, 2002).	
 Geranium reuteri (Canarias)	***Geranium subgenus Robertium*** (Geraniaceae). Un grupo de especies de Geranium endémicas de Macaronesia, Marruecos y Península Ibérica componen el grupo hermano de un clado formado por especies del este de África (Fiz *et al.*, 2008).	
 Sideroxylon canariense (Canarias)	***Sideroxylon*** (Sapotaceae). Las tres especies macaronésicas, *Sideroxylon mirmulans* (Azores), *Sideroxylon canariense* (Canarias) y *Sideroxylon marginata* (Cabo Verde) forman un clado monofilético con especies de Madagascar e Islas Mascareñas (Smedmarck *et al.*, 2006).	
 Camptoloma canariensis (Canarias)	***Camptoloma*** (Scrophulariaceae). Éste género esta formado solamente por tres especies, una de ellas endémica de la isla de Gran Canaria (*Camptoloma canariensis*), otra especie presente en Somalia e Isla de Socotra (*Camptoloma villosa*), y por último otra en Angola y Namibia (*Camptoloma rotundifolia*).	

Pero no todas las disyunciones son tan acentuadas, todavía podemos observar distribuciones de especies cuya fragmentación nos da pistas para inferir una biota predesértica. Este sería el caso de algunas especies todavía presentes en puntos intermedios entre el este y el oeste de África, y que aparecen en islas continentales en medio del desierto del Sáhara, como las montañas del Tibesti (Chad) o el macizo del Hoggar (Argelia). He aquí el caso del brezo (*Erica arborea*), la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*), o algunas especies de campanillas del género *Campanula*. La presencia de fósiles de algunos de estos taxones en localidades neógenas en el Sáhara podría sugerir que formaban parte de una biota predesértica. Además, hasta hace aproximadamente 4000 años las formaciones de estepa y sabana africanas alcanzaron latitudes mucho más al norte que en la actualidad (Kröpelin 2008; Renssen 2006), permitiendo la existencia de hábitats apropiados en otros lugares del Sáhara y facilitando el flujo de semillas entre estos refugios.

Se han barajado dos posibles hipótesis para explicar el origen de la Rand flora (Figura 1):

1. La hipótesis de vicarianza. Sugiere que las especies actuales son el testigo presencial de una macroflora continental bastamente distribuida en el pasado. Ésta flora habría ocupado una gran parte de la superficie del continente africano, habiendo quedado refugiada en los márgenes del continente como resultado de diversas crisis de aridez desde el Mioceno (23 millones de años; abreviado, Ma) en adelante. Los márgenes del continente habrían actuado como refugios debido a su mayor bonanza climática, en comparación con las fuertes fluctuaciones climáticas acaecidas en el interior del continente. Estos refugios corresponden a los márgenes continentales del este y el oeste de África (Figura 1A; Axelrod & Raven, 1978; Bramwell, 1985; Quezel, 1979, Andrus *et al.* 2004; Thiv *et al.* 2010).

2. La hipótesis de dispersión. Sugiere que la distribución actual es el resultado de eventos recientes de dispersión a larga distancia entre áreas geográficamente aisladas, seguidos de una diversificación de los taxones *in situ*. Para ésta teoría se han propuesto varias rutas de migración; hacia el sur, desde la región mediterránea o desde el oeste de Asia (Figura 1-B1), y hacia el norte, desde el sur de África, vía este de África (Figura 1-B2; Galley *et al*., 2007). Esta hipótesis predice que los linajes estudiados no van a presentar una historia común a lo largo de su historia biogeográfica.

Hasta ahora los estudios biogeográficos sobre la Rand Flora se han limitado a la comparación de los patrones biogeográficos de distintos linajes sin que haya habido un intento de contrastar estas hipótesis estadísticamente. El desarrollo de nuevas herramientas analíticas en inferencia biogeográfica y datación filogenética, junto con la acumulación de datos paleoclimáticos y paleontológicos sobre la vegetación del norte de África, nos permiten por primera vez examinar los factores responsables de esta disyunción continental dentro de un riguroso marco evolutivo.

El presente proyecto de investigación titulado *"Reconstrucción del origen de la Rand Flora Afro-Mediterránea con datación filogenético e inferencia biogeográfica"* tiene como objetivo final inferir los factores históricos que han configurado este enigmático patrón florístico: vicarianza y extinción gradual de una antigua flora terciaria o dispersión y diversificación reciente entre áreas aisladas geográficamente.

Para ilustrar la forma de proceder en el proyecto, en el siguiente apartado se analizan de forma detallada dos de los grupos que se ha propuesto que presentan la distribución "Rand Flora", los géneros *Canarina L.* (Familia Campanulaceae) e *Hypericum L.* (Familia Hypericaceae). Cada uno de estos subproyectos se encuentra en diferentes fases de desarrollo. Finalmente, se presentan los primeros resultados obtenidos en el proyecto, que aún está en curso. Estos resultados son el producto del primer meta-análisis realizado con el patrón biogeográfico de la Rand Flora.

Proyectos de investigación-conservación

EL SUBPROYECTO *CANARINA*

El género *Canarina* se sitúa dentro de la familia de las campanuláceas, pertenece a la tribu *Platycodoneae* (mediante tribu se hace referencia a la categoría taxonómica por debajo de familia) y sólamente comprende 3 especies, que son un modelo manifiesto de disyunción afro-macaronésica; *Canarina canariensis*, aparece en las Islas Canarias occidentales, mientras que para encontrar el resto de especies tenemos que atravesar el desierto del Sáhara hasta el este de África, donde podemos encontrar las otras dos especies: *Canarina abyssinica* y *Canarina eminii* (Figura 2). Esta distribución nos puede servir como organismo modelo para estudiar la disyunción afro-macaronésica. El resto de géneros de la tribu Platycodoneae; Platycodon (1 especie sp), *Codonopsis* (43–55 sp) y *Cyananthus* (44 sp), se distribuyen todas en el este de Asia, convirtiendo a *Canarina* en el único taxón de las Platycodoneae representado en África. Esto, junto a su llamativa disyunción nos plantea una sugerente incógnita biogeográfica.

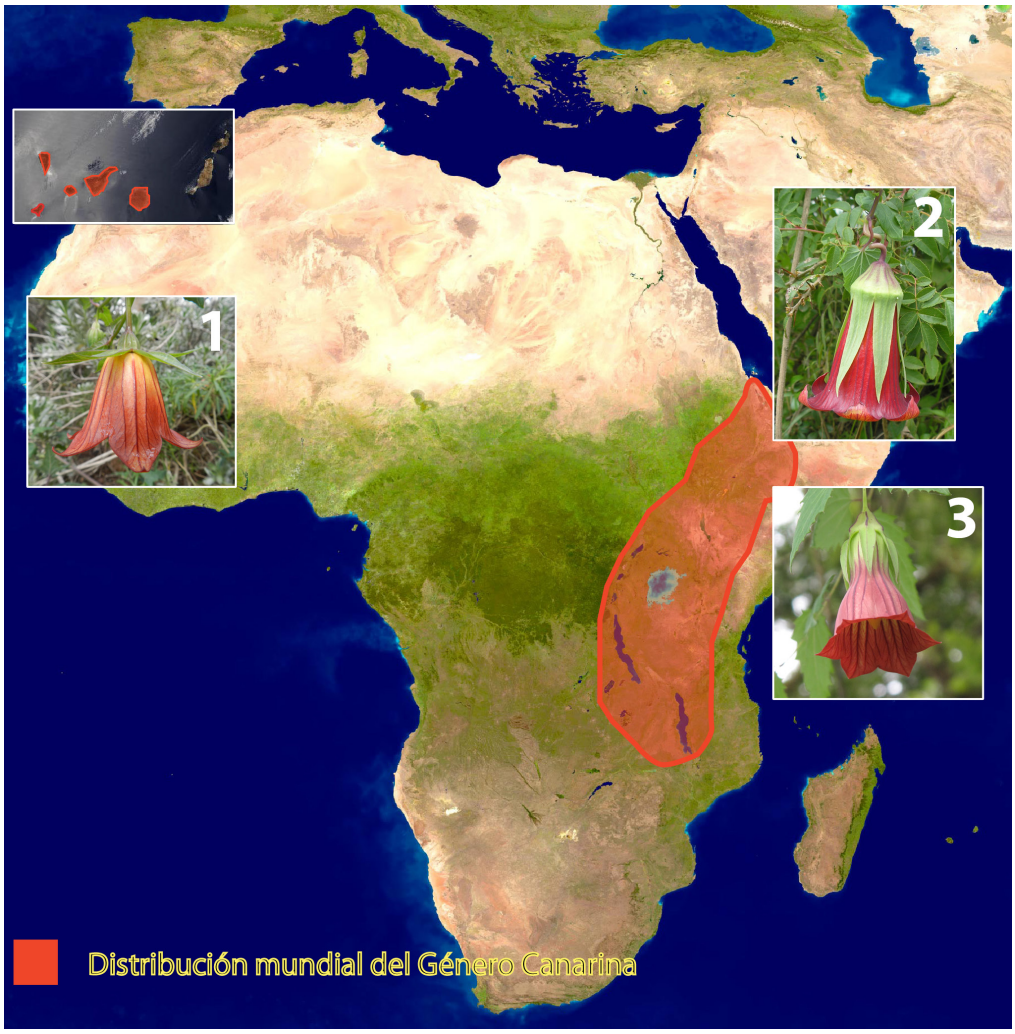


Figura 2. Mapa con la distribución actual de las especies del género *Canarina*.

1. *Canarina canariensis*, presente en las islas Canarias occidentales.

2 y 3. C*anarina eminii* y *Canarina abyssinica*, con distribución solapada en el este de África.

Figura realizada por M. Mairal Pisa.

Proyectos de investigación-conservación

Para comprender esta distribución es importante conocer el marco paleoclimático de África. Sabemos que hace doce millones de años, en el Mioceno medio, el actual desierto del Sáhara estaba cubierto por sábana tropical (Quezel, 1978), pudiéndose encontrar sábanas arboladas hasta hace solamente 5000 años (Kröpelin 2008; Renssen 2006). De esta manera, las actuales biotas (conjunto de especies que ocupan un determinado área) macaronésicas y del este de África podrían haber estado conectadas. Es probable que esta conexión haya permitido que los frutos carnosos de Canarina, los cuales son consumidos por aves, hayan sido dispersados a Canarias por ornitocoria (dispersión de semillas realizada por pájaros). Posteriormente *Canarina* se habría extinguido del norte de África cuando estos bosques húmedos desaparecieron por la creciente aridificación del territorio. A falta de registro fósil, a priori no podemos saber si *Canarina* vivió a lo largo de las extensas sabanas africanas o se produjo un evento de dispersión a larga distancia.

Dentro de este contexto se pretende dilucidar la historia evolutiva de este género, para lo que se está haciendo un importante esfuerzo de muestreo y trabajo molecular. En concreto, estamos trabajando con tres métodos filogenéticos moleculares diferentes: análisis de regiones del genoma nuclear y plastidial, análisis de microsatélites y AFLPs (Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos Amplificados). Estas técnicas permiten conocer las relaciones de parentesco entre las especies de *Canarina* en base a las distancias genéticas que existen entre ellas, así como el flujo génico que se ha producido entre los individuos de sus poblaciones. En último término, toda esta información nos permitirá inferir el área de origen del grupo, la dirección de la dispersión y la antigüedad de la separación entre las poblaciones a ambos lados del continente africano.

Las dos especies de *Canarina* del este de África se pueden encontrar en las selvas afromontanas húmedas, hábitat en un alarmante estado de retroceso, que ha quedado reducido a retazos de selvas dispersa por el este de África. Mediante el estudio de secuencias de ADN en relación a la distribución geográfica de los individuos se pueden también mejorar los esfuerzos de conservación, identificando las regiones en las que las especies tienen una diversidad genética más alta o exclusiva, y que por tanto deberían ser priorizadas en las políticas de conservación.

Pero además, durante el curso de esta investigación, han descollado otras preguntas interesantes relacionadas con el objeto de estudio. Sabemos que las especies de *Canarina* son polinizadas por pájaros (Olessen, *et al.*, in press), de esta manera, poseen diversos caracteres relacionados con la polinización ornitófila; flores robustas, néctar más diluido, colores que no reflejan la luz ultravioleta. Su interacción con los polinizadores es compleja; mientras que en África, *Canarina* es polinizada por pájaros de la familia Nectariniidae especializados en consumir polen (por ejemplo *Cinnyris mariquensis*), en Canarias, sin embargo, es polinizada por pájaros de dieta generalista, como el mosquitero canario (*Phylloscopus canariensis*) o el herrerillo (*Cyanistes caeruleus*). La ausencia de especies de pájaros con dieta especialista en Macaronesia nos sugiere fascinantes preguntas evolutivas, por ejemplo ¿por qué poseen adaptaciones a polinizadores especialistas estas plantas insulares? Así, pretendemos comparar por primera vez la biología reproductiva y los efectos de la polinización ornitófila entre isla y continente. Con ésto se pretende dilucidar las interacciones ecológicas entre estos organismos, y la importancia que podría tener la extinción de alguna de sus funciones en el ecosistema, ya de por si muy fragmentado.

Proyectos de investigación-conservación

EL SUBPROYECTO *HYPERICUM*

Hypericum L. es otro de los géneros que se ha propuesto que muestran el patrón de distribución Rand Flora. El grupo contiene más de 470 especies distribuidas en todos los continentes y diferentes ecosistemas, y solamente falta en los polos, en los desiertos y en zonas bajas tropicales (Robson, 1977; Figura 3). En África, *Hypericum* está presente en la mayor parte de los hábitats excepto desiertos y zonas bajas tropicales. *Hypericum* es un grupo muy interesante para nuestro estudio porque se trata de un género muy antiguo. Tanto el registro fósil como las dataciones moleculares, indican que el orden Malpighiales al que *Hypericum* pertenece, divergió rápidamente a partir del Cretácico Medio (110 Ma) (Davis *et al.*, 2005), y datan la separación de *Hypericum* de su grupo hermano Vismia en el Cretácico-Paleoceno, hace 65 Ma. En una revisión reciente del registro fósil de *Hypericum*, Sánchez-Meseguer y Sanmartin (2012) sostienen que el origen del género se remonta al Eoceno superior. Entre otros restos fósiles, se ha encontrado polen fósil de *Hypericum* del Oligoceno inferior en España, aprox. 30 Ma. Esta información nos indica que tanto el género, como su presencia en África son probablemente anteriores al supuesto origen Mioceno de la "Rand Flora" y es por ello un grupo idóneo para nuestro estudio.

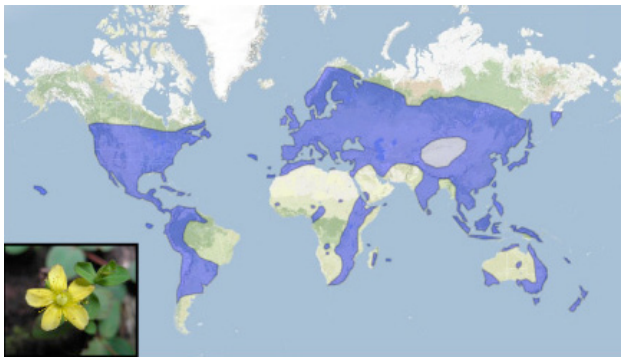


Figura 3. Mapa con la distribución actual de las especies del género *Hypericum* modificado de Robson (1977). Figura realizada por A. Sanchez-Meseguer.

Robson (1981) describió varias disyunciones afro-mediterráneas para *Hypericum* basándose en el estudio de caracteres morfológicos. Entre otras, propuso que *Hypericum* roeperianum (distribuido en el este África) está emparentado con *H. canariense* (Macaronesia), o que H. quartinianum (este de África) está relacionado con *H. glandulosum* (Macaronesia).

Al igual que ocurre con otros grupos incluidos en la Rand Flora, la existencia de disyunciones ha sido propuesta en base a caracteres morfológicos, pero no existe una filogenia molecular que nos permita testar estas hipótesis de parentesco en base a caracteres moleculares. Además, los estudios previos filogenéticos del género *Hypericum* eran muy reducidos en número de especies y estaban centrados en áreas geográficas concretas como el este de Asia y norte de América (Crockett *et al.*, 2004; Park y Kim, 2004; Pilepic *et al.*, 2011). Por ello, para este proyecto hemos generado la primera filogenia molecular representativa para todo el género que contiene representantes de todos los lugares donde *Hypericum* está distribuido (Sánchez-Meseguer *et al.*, en revisión) y de toda la variación morfológica que contiene el grupo. Además, hemos estimado los tiempos desde que divergieron los linajes de *Hypericum* (Sánchez-Meseguer *et al.*, en preparación). Los resultados obtenidos aún no han sido publicados, pero de forma preliminar se puede concluir que algunas de las especies que se ha propuesto que muestran el patrón de distribución afro-mediterráneo no están emparentadas entre si (Sánchez-Meseguer *et al.*, en revisión). Éste es el caso para la supuesta relación entre *H. canariense* e *H. roeperianum*. La hipótesis de disyunción que postulaba Robson no se confirma, ya que ambas especies aparecen agrupadas en clados distintos (no son especies relacionadas). H. canariense está emparentada con taxones mediterráneos, mientras que H. roeperianum desciende de linajes distribuidos en Asia, y por lo tanto su presencia en el este de África probablemente se debe a una dispersión desde Asia. Lo mismo ocurre entre *H. quartinianum* y *H. glandulosum*. Por lo tanto, la distribución de estos linajes en los márgenes del continente africano no podría ser explicada por la hipótesis de fragmentación de una antigua flora continental Africana.

Sin embargo, las evidencias moleculares sugieren que sí que existe relación entre *Hypericum tomentosum* (distribuido en el norte de África y en la Península Ibérica) e *Hypericum somaliense* (Somalia). Ambas especies aparecen emparentadas dentro de un clado mayormente mediterráneo. La divergencia entre ellas data del Plioceno (Sánchez-Meseguer *et al.*, en preparación), lo que nos indica que pudieron formar parte de la Rand Flora, aunque la edad de separación entre ellas fue más reciente que en otros casos estudiados (Sánchez-Meseguer *et al.*, en preparación).

PRIMEROS RESULTADOS DEL PROYECTO

En 2010 Sanmartín y colaboradores presentaron el primer meta-análisis del patrón Rand Flora. En él se incluían 13 linajes de plantas con distribución disyunta en los márgenes del continente africano. Los linajes incluidos fueron: *Aeonium* (Crassulaceae), *Adenocarpus* (Fabaceae), *Androcymbium* (Colchicum) (Colchicaceae), *Convolvulus* (Convolvulaceae), *Monsonia* (Geraniaceae), *Moraea* (Iridaceae), *Sideroxylon* (Sapotaceae), *Ceropegieae* (Apocynaceae), *Geranium* (subgenero Robertium) (Geraniaceae), *Solanum* (subgenero *Leptostemonum* p.p.) (Solanaceae), dos grupos del gran género *Euphorbia* (subg. *Rhizanthium* y subg. *Esula* p.p) (Euphorbiaceae), así como la familia Campanulaceae.

En el artículo se explora el uso del método de Biogeografía Bayesiana de Islas (BIB) propuesto por Sanmartín *et al.* (2008) para estimar la tasa de intercambio biótico o flujo génico entre áreas geográficamente aisladas. Este método usa datos sobre la distribución geográfica de las especies y datos moleculares de múltiples grupos taxonómicos, que difieren en su edad de origen, tasa de evolución molecular y capacidad dispersiva.

En el trabajo de Sanmartín *et al.* (2010) se pudo establecer que las tasas de intercambio biótico resultaron ser más altas entre el este y el oeste de África que por ejemplo entre norte-este o norte-sur de África. Ésto sugiere que las áreas del este y el oeste permanecieron más tiempo conectadas, o dicho de otra manera, que el intercambio biótico entre estas dos áreas duró hasta tiempos más recientes que entre las otras áreas estudiadas. El intercambio biótico entre Sudáfrica con el este o el norte de África fue probablemente más antiguo. Cuanto más antiguo es un intercambio biótico entre dos áreas es más probable que la extinción haya eliminado su rastro, siendo más difícil observar su señal en una filogenia. Sin embargo, si el intercambio es más reciente, la extinción todavía no ha tenido tiempo de eliminar esa señal.

Además, estos datos concuerdan con la información geológica. Sabemos que la desertificación del norte de África fue posterior a la del sur y el este de África, lo que esclarece una pieza más de este complejo puzzle evolutivo.

La alta tasa de dispersión detectada entre el oeste (Macaronesia-noroeste de África) y este de África (Cuerno de África-Península Arábiga) apoyaría la hipótesis de vicarianza, dónde una flora macrocontinental quedaría fragmentada por las variaciones climáticas ocurridas desde el Mioceno (Axelrod & Raven, 1978), dándose a posteriori una diversificación in situ. Algunos ejemplos cuya distribución se explica por un fenómeno de vicarianza son los géneros: *Aeonium*, *Campylanthus* o *Adenocarpus* (Tabla 1).

Sin embargo, sería improbable pensar que todo ha sucedido por un único evento de vicarianza, estas tasas reflejarían eventos repetidos de dispersión y vicarianza coincidiendo con la alternancia de ciclos húmedos y áridos en el norte de África desde el Mioceno (Thiv *et al.*, 2010), los cuáles habrían permitido el intercambio génico de forma intermitente.

Asimismo, se encontró que la región Macaronesia-noroeste de África presenta una capacidad de carga menor que otras regiones; esto, unido a su mayor tasa de dispersión, sugiere

que la flora Macaronésica está compuesta por linajes que llegaron por migración a larga distancia. La migración de linajes se produjo principalmente desde el Mediterráneo, y en menor grado desde la Península Arábiga. La alta capacidad de carga observada en Sudáfrica junto con la menor tasa de dispersión, indica que la rica diversidad sudafricana surgió en dicho lugar, lo que es respaldado por la estabilidad climática de este área desde el Mioceno (Linder, 2005), algunos géneros representativos serían *Androcymbium*, *Monsonia* o *Moraea*. Ésto señala la región Sudafricana como fuente de linajes, que migrarían hacia el norte vía este de África, subiendo por las Montañas del Drakensberg y el Gran Rift, cuya formación también se daría en el Plioceno (20 millones de años). De esta manera, parte de la rica diversidad afromontana del este de África posiblemente provenga de la región de El Cabo sudafricana (Linder, 2005; Galley *et al.*, 2007). Los resultados indican también que ha habido poco intercambio biótico entre las regiones del sur de África y del norte de África, ocurriendo éste por el este de África.

El trabajo presentado por Sanmartin *et al.* (2010) se está continuando en la actualidad, incorporando en el análisis otros muchos grupos de estudio con distribución Rand Flora, entre ellos lo género descritos *Canarina* e *Hypericum*. Se prevé que al término del proyecto de investigación, se tendrá una idea más realista de los factores históricos que han contribuido a la formación del patrón florístico de la Rand Flora.

Los resultados de este proyecto pueden ayudarnos a entender el papel de la extinción asociada a cambios climáticos en la formación de patrones de diversidad vegetal. Asimismo, pueden ser de utilidad en el diseño de políticas de conservación en estas áreas, a través del desarrollo de modelos predictivos para conocer las consecuencias de la *aridificación* actual en el Norte de África y Sur de Europa en la evolución futura de su diversidad vegetal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia y Educación (proyecto CGL2009-13322-C03-01/BOS) y a las becas de doctorado de A.S.M (AP-2007-01698) y a M.M (BES-2009-028958). Los autores quieren agradecer la ayuda prestada para la preparación del manuscrito a los responsables del proyecto, I. Sanmartín y J.J. Aldasoro, y también a M. Alarcón y C.L. Anderson. Además, agradecemos la ayuda técnica a I. Marques, E. Cano, F. Durán, G. Andreu y G. Sanjuanbenito.

BIBLIOGRAFÍA

– ANDRUS, N., TRUSTY, J., SANTOS-GUERRA, A., JANSEN, R. K., FRANCISCO-ORTEGA, J. 2004. Using molecular phylogenies to test phytogeographical links between East/South Africa, Southern Arabia and the Macaronesian islands— a review, and the case of *Vierea* and *Pulicaria* sect. *Vieraeopsis*. *Taxon*, 53: 333–346.

– AXELROD, D. I., RAVEN, P. H., 1978. Late Cretaceous and Tertiary vegetation history of Africa. *Biogeography and ecology of Southern Africa* (ed. M. J. A. Werger), pp. 77–130. The Hague, The Netherlands: Junk.

– BRAMWELL, D., 1985. Contribución a la biogeografía de las Islas Canarias. Bot. *Macaronésica*, 14: 3–34.

– CROCKETT, S.L., DOUGLAS, A.W., SCHEFFLER, B.E., KHAN, I.A., 2004. Genetic profiling of *Hypericum* (St. John's wort) species by nuclear ribosomal ITS sequence analysis. *Pl. Med.*, 70: 1–7.

– DAVIS, C.C., WEBB, C.O., WURDACK, K.J., JARAMILLO, C.A., DONOGHUE, M.J., 2005. Explosive radiation of Malpighiales supports a mid-Cretaceous origin of modern tropical rain forests. *Amer. Naturalist*, 165: E36–E65.

– FIZ, O., VARGAS, P., ALARCÓN, M., AEDO, C., GARCÍA, J. L. Y ALDASORO, J. J., 2008. Phylogeny and historical biogeography of Geraniaceae in relation to climate changes and pollination ecology. *Systematic Botany*, 32.

– GALLEY, C., BYTEBIER, B., BELLSTEDT, D. U., LINDER, H. P., 2007. The Cape element in the Afrotemperate flora: from Cape to Cairo?. *Proc. R. Soc.*, B 274: 535–543.

– KRÖPELIN, S., VERSCHUREN, D., LÉZINE, A.M., EGGERMONT,H., COCQUYT, C., FRANCUS,P., CAZET, J.P., FAGOT,M., RUMES,B., RUSSELL, J.M., DARIUS,F., CONLEY, D.J., SCHUSTER,M., VON SUCHODOLETZ, H., ENGSTRÖM, D.R., 2008. Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: The past 6000 years. *Science* 320 : 765–768.

– LE BRUN, J. P., 1971. Quelques phanerogames africaines a` aire disjointe. *Mitteil. Bot. Staatssamm. Mün.*, 10: 438–448.

– LINDER, H. P., 2005. Evolution of diversity: the Cape Flora. *Trends Plant. Sci.*, 10: 536–541.

– Molero, J., Garnatje, T., Rovira, A., Garcia-Jacas, N., Susanna, A., 2002. Karyological evolution and molecular phylogeny in Macaronesian dendroid spurges (*Euphorbia subsect Pachycladae*). *Plant. Syst. Evol.*, 231: 109-132.

– MORT, M. E, SOLTIS D. E., SOLTIS P. S., FRANCISCO-ORTEGA, J. Y SANTOS GUERRA, A., 2002. Phylogenetics and evolution of the Macaronesian Crassulaceae inferred from nuclear and chloroplastic sequences. *Systematic Botany*, 27: 271-288.

– MWACHALA, G. 2005. Systematics and ecology of *Dracaena* L. (Ruscaceae) in central, east and southern Africa. PhD Dissertation, Univeristy of Koblenz-Landau, Institute of Biology.

– OLESEN, J.M., ALARCÓN, M., EHLERS, B.K., ALDASORO, J.J., AND ROQUET, C. 2012. Pollination, biogeography and phylogeny of oceanic Island bellflowers (Campanulaceae). Perspectives in *Plant Ecology, Evolution and Systematics*, in press.

– PERCY, D. M., CRONK, Q. C. B., 2002. Different fate of island brooms; contrasting evolution in *Adenocarpus*, Genista and Teline in the Canary Islands and Madeira. *Am. J. Bot.* 89: 854-864.

– PARK, S.J., KIM, K.J., 2004. Molecular phylogeny of the genus Hypericum (Hypericaceae) from Korea and Japan: Evidence from nuclear rDNA ITS sequence data. *J. Pl. Biol.*, 47: 366–374.

– PILEPIĆ, K.H., BALIĆ, M., BLAŽINA, N., 2011. Molecular phylogenetic relationships of some *Hypericum* (Hypericaceae) based on ITS sequences. *Plant Biosystems*, 145: 81–87.

– Quezel, P., 1979. Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 65: 479-534.

– RENSSEN, H., BROVKIN, V., FICHEFET, T., GOOSSE, H., 2006. Simulation of the Holocene climate evolution in Northern Africa: The termination of the African Humid Period. *Quat. Int.*, 150: 95–102.

– ROBSON, N.K.B., 1977. Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae). 1. Infrageneric classification. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Bot.*, 5: 295–355.

– ROBSON, N.K.B., 1981. Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae). 2. Characters of the genus. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Bot.*, 8: 55–226.

– ROQUET, C., SANMARTÍN, I., GARCIA-JACAS, N., SÁEZ, LL., SUSANNA A.,WIKSTRÖM N.,ALDASORO, J.J., 2009. Reconstructing the history of Campanulaceae with a Bayesian approach to molecular dating and dispersal–vicariance analyses. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 52: 575–587.

– SÁNCHEZ-MESEGUER, A., ALDASORO, J.J., SANMARTÍN, I. (en revisión). New plastid and nuclear DNA evidence help solve relationships within the large and cosmopolitan genus *Hypericum* (Hypericaceae).

– SÁNCHEZ-MESEGUER, A., SANMARTÍN, I. Paleobiology of the genus *Hypericum* (Hypericaceae): a survey of the fossil record and some palaeogeographic implications. Anales del Jardín Botánico de Madrid (aceptado, fecha prevista de publicación 2012).

– SANMARTÍN, I., VAN DER MARK, P., RONQUIST, F. 2008. Inferring dispersal: a Bayesian, phylogeny-based approach to island biogeography, with special reference to the Canary Islands. *J. Biogeo.*, 35: 428–449.

– SANMARTÍN, I., ANDERSON, C.L., ALARCON, M., RONQUIST, F., ALDASORO, J.J., 2010. Bayesian island biogeography in a continental setting: the Rand Flora case. *Biol. Lett.* 6, 703–707.

– SMEDMARK, J. E. E., SWENSON, U., ANDERBERG, A., 2006. Accounting for variation and substitution rates through time in Bayesian phylogeny reconstruction of Sapotoideae. *Mol. Phyl. Evol.*, 39: 706-721.

– THIV, M., THULIN, M., HJERTSON, M., KROPF, M., LINDER, H. P. 2010. Evidence for a vicariant origin of Macaronesian- Eritreo/Arabian disjunctions in *Campylanthus* Roth (Plantaginaceae). *Mol. Phyl. Evol.*, 54: 607–616.

Proyectos de investigación-conservación

Crustáceos anfípodos: una alternativa al alimento vivo usado tradicionalmente en acuicultura.

Elena Baeza-Rojano Pageo

Laboratorio de Biología Marina, Dpto. Fisiología y Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes 6, 41012, Sevilla, España.

elenbae@us.es

RESUMEN

Los anfípodos son un grupo de pequeños crustáceos que suelen pasar desapercibidos para la mayoría de las personas. Esto se debe a que son organismos de colores oscuros que no suelen sobrepasar los 2 cm de tamaño y poseen una gran capacidad para camuflarse en el medio en el que habitan. Se encuentran entre las algas u otras estructuras artificiales, alimentándose fundamentalmente de detritus, formando agregados de un alto número de individuos, y desempeñando varias funciones en el ecosistema como la de servir de alimento a muchas otras especies animales. Todas estas características nos dieron la idea de que estos individuos podían ser fácilmente cultivados bajo condiciones controladas y podían usarse como un alimento alternativo para la producción de especies de interés comercial en acuicultura, cuyas primeras fases de crecimiento en condiciones naturales necesitan de estos organismos para poderse alimentar. A continuación se describen algunos aspectos interesantes de estos crustáceos anfípodos para su uso como alimento, tales como sus ciclos biológicos, su alimentación, el contenido nutricional, su cultivo, y las primeras experiencias usándolos como presa viva para juveniles de cefalópodos.

Palabras clave: anfípodos, crustáceos, alimento vivo alternativo, acuicultura, cefalópodos.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA ACUICULTURA

La población mundial se encuentra continuamente en crecimiento y esto ha ocasionado un aumento de las necesidades nutricionales o alimentarias de toda la población. En este sentido, el sector pesquero ha sido el que se ha encontrado con los mayores problemas de abastecimiento, ya que toda su producción siempre se ha basado en la recolección directa de los organismos vivos del mar (FAO, 2010). La elevada demanda de ciertas especies de interés comercial, ha producido una merma en algunas poblaciones locales, provocando la diversificación hacia la acuicultura en especies como la dorada y lubina en el sur de España, el rodaballo en el norte, o las camaroneras en los países tropicales.

Con el tiempo, el desarrollo de la acuicultura ha posibilitado el cultivo de una gran variedad de especies de interés comercial, tanto de peces como de crustáceos y moluscos. Sin embargo, es necesario seguir investigando en el desarrollo y mejora de otras, cuya producción todavía no ha podido ser completada. Uno de los cuellos de botella a los que se enfrenta la acuicultura en estas especies de difícil cultivo, es el desarrollo de las primeras fases de crecimiento o estadios larvarios, ya que como en el caso de los

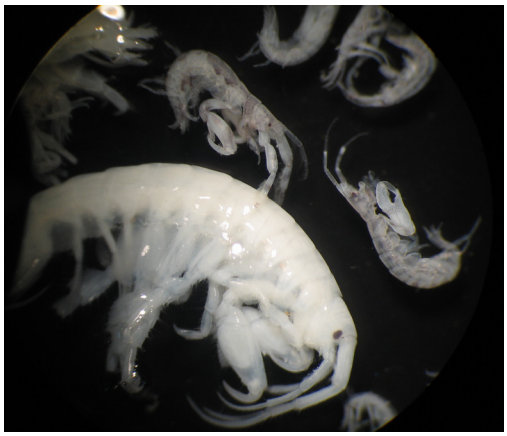
cefalópodos, requieren de presas vivas de pequeño tamaño como alimento, y el número de especies que son usadas hoy en día para tal fin es muy limitado (Gopakumar, 2009).

Las artemias y los rotíferos son los cultivos auxiliares más usados en la actualidad. Las artemias son crustáceos de tamaño muy pequeño que se usan para la alimentación de alevines de peces y otras especies de tamaño reducido; sin embargo, por su escaso valor nutricional es necesario enriquecerlos con soluciones ricas en ácidos grasos poli-insaturados omega3 y aminoácidos (Ajiboye *et al.*, 2010). Por este motivo se están realizando pruebas con otras especies de crustáceos tales como los copépodos o los misidáceos y muy recientemente, los anfípodos.

EL VALOR DE LOS ANFÍPODOS EN LA ACUICULTURA

GENERALIDADES DE LOS ANFÍPODOS

Los anfípodos constituyen un grupo de pequeños crustáceos peracáridos de la clase malacostraca. Se encuentran asociados a un gran número de sustratos naturales y artificiales, y algunos de ellos viven sobre la superficie de grandes vertebrados, como es el caso de los caparazones de tortugas marinas (Sezgİn *et al.*, 2009), o han sido capaces de modificar su estructura corporal para ser parásitos de grandes cetáceos (Oliver y Trilles, 2000). Los anfípodos incluyen 4 grandes subórdenes: Hyperiidea, Ingolfiellidea, Gammaridea y Caprellidea, siendo estos dos últimos los más abundantes en relación al número total de especies y a su abundancia en el ecosistema. Los gammáridos (Gammaridea, Foto 1) poseen un cuerpo rechoncho y pueden encontrarse en ambientes tanto salinos como dulceacuícolas; son bentónicos y tienen hábitos mucho más gregarios que los caprélidos (Caprellidea, Foto 2), que presentan cuerpos más alargados y finos y sólo se encuentran en aguas marinas ya que no resisten salinidades muy bajas; a diferencia de los gammáridos, son más sedentarios y permanecen agarrados a una estructura fija mediante pequeñas patas destinadas a la locomoción, llamadas pereiópodos (Guerra-García, Corzo y García-Gómez, 2002). Su importancia en el ecosistema radica en que son uno de los organismos más abundantes en el medio, con un alto número de especies (Dauby, Scailteur y De Broyer, 2001) y colaboran en el reciclado de la materia orgánica transformándola en detritus. Muchas de estas especies pueden ser usadas como bioindicadores medioambientales debido a su alta sensibilidad a gran variedad de compuestos tóxicos presentes en el agua (Sánchez-Moyano y García-Gómez, 1998; Gómez-Gesteira y Dauvin, 2000; Guerra-García y García-Gómez, 2001; 2004), y como última característica



Fotos 1 y 2. Detalle morfológico de las especies de gammáridos, a la izquierda, y de caprélidos, a la derecha.

y más importante desde el punto de vista de la acuicultura, se ha comprobado que son una fuente de comida indispensable para otros animales y peces de gran importancia comercial (Woods, 2009; Pinczon du Sel, Blanc y Daguzán, 2000).

Así pues ¿Por qué no usarlos como un alimento alternativo para las primeras fases de vida en el cultivo de peces y otros organismos como los cefalópodos?

CICLO DE VIDA

Los anfípodos de nuestra latitud se caracterizan por poder reproducirse continuamente a lo largo de toda su vida y presentar un fuerte dimorfismo sexual en la mayoría de las especies, en las que el desarrollo de una bolsa de incubación en las hembras hace fácilmente distinguibles el sexo y la madurez sexual de los adultos (Foto 3). El ciclo reproductivo de las hembras consiste en sucesivas mudas, con cópula, puesta de los huevos en su bolsa de incubación, eclosión y emergencia de los juveniles (Lewbel, 1978; Caine, 1979; Conlan, 1991). Poseen desarrollo directo, pues de la bolsa de incubación salen juveniles totalmente formados, con los mismos caracteres morfológicos que los padres, evitándose así la fase larvaria. El ciclo de vida de las especies de nuestra latitud es relativamente rápido, alcanzándose la madurez sexual en menos de 30 días y reproduciéndose tras ella continuamente con periodos de 1 semana entre cada evento reproductivo (Baeza-Rojano *et al.*, 2011). El número de huevos y juveniles está directamente relacionado con el tamaño y madurez de la hembra, así como con la longitud corporal de la especie, siendo a mayor edad y longitud, mayor el número de juveniles producidos, pudiéndose alcanzar más de 100 huevos por cada hembra tras cada reproducción (Foto 4).

Foto 3. Hembra madura de *Caprella dilata* sujeta a una rama de briozoo en donde es fácil identificar su sexo gracias al desarrollo de la bolsa de incubación.

Foto 4. Juveniles de *Caprella scaura* emergidos de la bolsa de incubación de la hembra.

Estas características en su ciclo de vida hacen fácilmente entendible que puedan encontrarse en grandes densidades, pudiendo alcanzar valores de hasta 319.000 ind/m^2 sobre sustratos artificiales (Ashton, 2006). Sin embargo, sufren variaciones espaciales y temporales considerables en función de factores ambientales tales como la temperatura o la

disponibilidad del alimento (Woods, 2009). Por otra parte, muchas especies de gammáridos poseen una alta resistencia a factores de estrés tales como las variaciones de la salinidad, y la degradación del ambiente por el uso humano (Grabowski, Bacela y Konopacka, 2007) convirtiéndolos en candidatos ideales para su cultivo debido a su resistencia y a sus bajos requerimientos.

ALIMENTACIÓN

Casi todos se ubican como consumidores de primer orden, particularmente como detritívoros; con la presencia también de herbívoros exclusivos, bacteriófagos y omnívoros. También existen especies que incluyen a organismos carnívoros de primer y segundo orden. Obtienen su alimento raspando la superficie del sustrato, aunque en el caso de aquellos que poseen largas sedas en sus antenas lo hacen filtrando las partículas en suspensión del agua (Guerra-García, Corzo y García-Gómez, 2002). En el grupo de los caprélidos, estudios recientes han demostrado que son fundamentalmente detritívoros (Guerra-García y Tierno de Figueroa, 2009), un punto favorable para su cultivo en condiciones controladas ya que no necesitan de productos de alto coste económico para su mantenimiento (Foto 5), e incluso podrían ser usados como agente biorremediador, ayudando a eliminar materia orgánica del medio.

Foto 5. Pull de gammáridos recolectados en tanques de cría de peces.

CONTENIDO NUTRICIONAL

Varios investigadores han estudiado el contenido nutricional de los anfípodos, sobre todo de los gammáridos (e.g. Kolanowski, Stolyhwo y Grabowski, 2007; Nair y Anger, 1980). Son muy ricos en ácidos grasos poli-insaturados omega-3, tales como el DHA (22:6n-3) y el EPA (20:5n-3). Estos ácidos grasos poli-insaturados (PUFA, en inglés), se encargan de mantener la estructura y la función de las membranas celulares y son unos precursores muy importantes de varios compuestos bioactivos en vertebrados, invertebrados y plantas. Son muy beneficiosos para la salud humana y también para la alimentación de las larvas de peces y crustáceos, ya que se les requiere para el crecimiento normal somático, la supervivencia, el desarrollo neuronal, la pigmentación y la reproducción. Los gammáridos, además de poseer un alto nivel de poli-insaturados, también poseen altos valores de proteínas, por lo que han sido probados como fuente alternativa en la elaboración de piensos para peces (Moren *et al.*, 2006), principalmente para salmón, mero, bacalao y trucha (Suontama *et al.*, 2007; Moren *et al.*, 2006; Mathias *et al.*, 1982; Parsons, Sharp y Li, 1985). Los estudios que se han realizado con caprélidos han sido mucho más escasos, pero al igual que ocurre con los gammáridos se han obtenido altos valores de ácidos grasos poli-insaturados y proteínas (Kawashima, Takeuchi y Ohnishi, 1999; Guerra-García, Sánchez-Moyano y García-Gómez, 2004; Woods, 2009; Cook *et al.*, 2010). Actualmente se están realizando estudios para conocer la composición nutricional de los gammáridos y los caprélidos más abundantes del sur de la Península Ibérica, cuyos resultados están mostrando composiciones nutricionales muy similares en ambos grupos. Sin embargo, existen ciertas diferencias en relación a su composición lipídica, con mayores cantidades de ácidos grasos poli-insaturados y fosfolípidos en caprélidos, y mayor cantidad de triglicéridos en gammáridos, aspecto determinante en su uso como alimento para los juveniles (Baeza-Rojano *et al.*, sin publicar).

PRIMERAS PRUEBAS PARA EL CULTIVO DE CEFALÓPODOS

Como ya hemos dicho anteriormente, los cefalópodos son una de las especies que todavía no han podido ser cultivadas a gran escala (Sykes *et al.*, 2006; Berger, 2011). Esto se debe en parte a que durante las primeras fases del crecimiento existe una alta mortandad de juveniles al no disponerse de una alimentación adecuada en forma de presas vivas. Muchos autores han usado con relativo éxito la artemia, en un intento de solventar ese problema, pero su bajo contenido nutricional siempre ha necesitado de un enriquecimiento especifico del cultivo con diferentes composiciones de proteínas y lípidos (Fuentes *et al.*, 2011). Los misidáceos y larvas zoeas también han sido usados (Domingues, Sykes y Andrade, 2001), y sus resultados han sido mejores que con la artemia; sin embargo, su utilización es complicada ya que tienen altas fluctuaciones en el medio, impidiendo ser usados en grandes densidades para su uso como alimento. Los cefalópodos presentan un cuerpo constituido principalmente por músculo, lo que implica la necesidad de aportarles una gran cantidad de proteínas a través de su dieta, y el alto contenido proteico de los anfípodos bien puede suplir esta necesidad. Atendiendo a este último punto, se realizaron experimentos para conocer el efecto que tendría el alimentar con gammáridos y caprélidos dos especies de cefalópodos de elevado interés comercial como son la sepia (*Sepia officinalis*) y el pulpo rojo de México (*Octopus maya*). En el primer caso, para alimentar los juveniles de *S. officinalis* se usaron tres tipos de alimentos vivos: caprélidos, gammáridos y misidáceos como control. Los sorprendentes resultados obtenidos mostraron que el uso de este tipo de alimentos promovía unas tasas de crecimiento y supervivencia en los juveniles de sepia más que adecuadas, apoyando el uso de estas fuentes de alimento en el cultivo de dichos cefalópodos (Baeza-Rojano *et al.*, 2010).

Este experimento de alimentación se repitió en la especie de pulpo rojo, aunque como control en este caso se utilizó artemia adulta en vez de misidáceos, y dos tipos diferentes de gammáridos (Foto 6), obteniendo unos resultados similares al caso de la sepia. Los juveniles alimentados con gammáridos llegaron a doblar el peso final de los que habían sido alimentados con artemia (Baeza-Rojano *et al.*, 2012).

Foto 6. Juvenil de *Octopus maya* alimentado con gammáridos marinos.

ESTUDIOS PENDIENTES: CULTIVO DE ANFÍPODOS A GRAN ESCALA

Debido a la gran versatilidad que tienen estos organismos en su alimentación, y a la resistencia que presentan ante diferentes factores estresantes (Grabowski, Bacela y Konopacka, 2007) muchos autores han logrado cultivar bajo condiciones controladas varias especies de gammáridos durante varias generaciones (Parsons y Bawden, 1979; Parsons, Sharp y Li, 1985; Aravind *et al.*, 2007; Grabowski, Bacela y Konopacka, 2007). Los cultivos que se han realizado con caprélidos han sido más escasos y están en una fase muy inicial, aunque autores como Takeuchi e Hirano (1991) lograron mantener en un acuario público una población de caprélidos durante varios años. Teniendo en cuenta que los anfípodos pueden alcanzar densidades por m^2 muy elevadas en periodos de tiempo cortos, hecho que sería de gran necesidad para lograr un buen cultivo, se realizó un experimento con una especie de caprélido para conocer cuál sería su tasa de crecimiento suministrándole un alimento adecuado como la artemia y las microalgas. Tras tres meses de cultivo se obtuvo que la especie podía alcanzar una tasa de crecimiento muy alta sobre sustratos artificiales colocados a modo de algas artificiales para su agarre, lo que indicaría que la especie tiene un alto potencial en la acuicultura, pudiendo ser usada como alimento vivo en larvas de diferentes especies.

Finalmente, el siguiente paso a dar en este campo sería estudiar si estos nuevos cultivos de anfípodos podrían ser rentables a través de su mantenimiento con alimentos mucho más económicos que los usados en el caso de la artemia, así como poder usar los desechos originados en el cultivo de otras especies de peces o crustáceos para alimentar a estos

cultivos accesorios, desempeñado a su vez la función de biorremediadores capaces de filtrar y mejorar la calidad de las aguas de desecho, producidas por las propias piscifactorías. Esta idea entraría a formar parte de la llamada Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI). Este tipo de estrategia productiva se basa en el cultivo combinado de varias especies comerciales, de forma que cada uno de los productos de desecho generados en cada especie sirve como alimento para la producción de la siguiente. Así se obtiene un mejor aprovechamiento de todos los recursos y se reduce el impacto ambiental generado, llegando a ser incluso nulo.

AGRADECIMIENTOS

Esta línea de investigación forma parte de la tesis doctoral que estoy realizando en la Facultad de Biología de la Universidad de Sevilla bajo la dirección y supervisión de José Manuel Guerra-García al que agradezco su inestimable ayuda y apoyo en mis investigaciones. También quiero manifestar mi agradecimiento a todos los miembros del grupo "caprella" por su ayuda en los muestreos y por crear un ambiente de trabajo inmejorable.

BIBLIOGRAFÍA

– AJIBOYE, O.O., YAKUBU, A. F., ADAMS, T.E., OLAJI, E.D., NWOGU, N. A., 2010. A review of the use of copepods in marine fish larviculture. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 225-246.

– ARAVIND, N.P., SHEEBA, P., NAIR, K.K.C. Y ACHUTHANKUTTY, C.T., 2007. Life history and population dynamics of an estuarine amphipod, *Eriopisa chilkensis* Chilton (Gammaridae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 87–95.

– ASHTON, G.V., 2006. Distribution and dispersal of the non-native caprellid Amphipoda, *Caprella mutica* Schurin 1935. PhD tesis, Universidad de Aberdeen, Escocia, 180 pp.

– BAEZA-ROJANO, E., GARCÍA, S., GARRIDO, D., GUERRA-GARCIA, J., DOMINGUES, P., 2010. Use of Amphipods as alternative prey to culture cuttlefish (*Sepia officinalis*) hatchlings. *Aquaculture*, 300: 243-246.

– BAEZA-ROJANO, E., GUERRA-GARCIA, J., CABEZAS, M.P., PACIOS, I., 2011. Life history of *Caprella grandimana* (Crustacea: Amphipoda) reared under laboratory conditions. *Marine Biology Research*, 7: 85-92.

– BAEZA-ROJANO, E., DOMINGUES P., GUERRA-GARCÍA J.M., CAPELLA S., NOREÑA-BARROSO E., CAAMAL-MOSREAL C., ROSAS C., 2012. Marine gammarids (Crustacea:Amphipoda): a new live prey to culture *Octopus maya* hatchlings. *Aquaculture Research*, 1-11.

– BERGER, E., 2011. Aquaculture of Octopus species: present status, problems and perspectives. *The Plymouth Student Scientist*, 384-399.

– CAINE, E.A., 1979. Population structure of two species of caprellid amphipods (Crustacea). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 40: 103-114.

– CONLAN, K.E., 1991. Precopulatory mating behaviour and sexual dimorphism in the amphipod Crustacea. *Hydrobiologia*, 223: 255-282.

– COOK, E.J., SHUCKSMITH, R., ORR, H., ASHTON, G.V., BERGE, J., 2010. Fatty acid composition as a dietary indicator of the invasive caprellid, *Caprella mutica* (Crustacea: Amphipoda). *Marine Biology*, 157: 19–27.

– DAUBY, P., SCAILTEUR, Y., DE BROYER, C., 2001. Trophic diversity within the eastern Weddell Sea amphipod community. *Hydrobiologia*, 443: 69-86.

– DOMINGUES, P., SYKES, A., ANDRADE, J., 2001. The use of Artemia sp. or mysids as food source for hatchlings of the cuttlefish (*Sepia officinalis* L.); effects on growth and survival throughout the life cycle. *Aquaculture International*, 9: 319–331.

– FAO, 2010. El estado mundial de la pesca y de la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2010.

– FUENTES, L., SÁNCHEZ, F.J., LAGO, M.J., IGLESIAS, J., PAZOS, G., LINARES, F., 2011. Growth and survival of *Octopus vulgaris* (Cuvier 1797) paralarvae fed on three Artemia-based diets complemented with frozen fish flakes, crushed zooplankton and marine microalgae. *Scientia Marina*, 75: 771-777.

– GÓMEZ-GESTEIRA, J.L., DAUVIN, J.C., 2000. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Pollution Bulletine*, 40: 1017-1027.

– GOPAKUMAR, G., 2009. Current status of live feed production for larviculture-Winter School on Recent Advances in Breeding and Larviculture of Marine Finfish and Shellfish. Micro.

– GRABOWSKI, M., BACELA, K., KONOPACKA, A., 2007. How to be an invasive gammarid (Amphipoda: Gammaroidea) - comparison of life history traits. *Hydrobiology*, 590: 75 - 84.

– GUERRA-GARCÍA, J.M., GARCÍA-GÓMEZ, J.C., 2001. The spatial distribution of Caprellidea (Crustacea: Amphipoda): a stress bioindicator in Ceuta (North Africa, Gibraltar area). P.S.Z.N.: *Marine Ecology*, 22: 357-367.

– GUERRA-GARCÍA ,J.M., GARCÍA-GÓMEZ, J.C., 2004. Crustacean assemblages and sediment pollution in an exceptional case study: a harbour with two opposing entrances. *Crustaceana*, 77: 353-370.

– GUERRA-GARCÍA, J.M., TIERNO DE FIGUEROA, J.M., 2009 What do Caprellids (Crustacea: Amphipoda) feed on? *Marine biology*, 156: 1881-1890.

– GUERRA-GARCÍA, J., CORZO, J., GARCÍA-GÓMEZ, J., 2002. Clinging behaviour of the Caprellidea (Amphipoda) from the Strait of Gibraltar. *Crustaceana*, 75: 41-50.

– GUERRA-GARCÍA, J.M., SÁNCHEZ-MOYANO, J.E., GARCÍA-GÓMEZ, J.C., 2004. Los caprélidos (Crustacea: Amphipoda) del estrecho de Gibraltar y su utilidad como bioindicadores marinos. *Almoraima*, 31: 315-323.

– KAWASHIMA, H., TAKEUCHI, I., OHNISHI, M., 1999. Fatty acid compositions in four of caprellid amphipod species (Crustacea) from Otsuchi and Mutsu bays in northern Japan. Journal-japan oil chemists society, 48: 595–600.

– KOLANOWSKI, W., STOLYHWO, A., GRABOWSKI, M., 2007. Fatty acid composition of selected fresh water gammarids (Amphipoda, Crustacea): a potencially innovative source of omega-3 LC PUFA. *Journal of the American Chemical Society*, 84: 827–833.

– LEWBEL, G.S., 1978. Sexual dimorphism and intraspecific aggression, and their relationship to sex ratios in Caprella gorgonia Laubitz and Lewbel (Crustacea: Amphipoda: Caprellidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 33: 133-151.

– MATHIAS A., MARTIN J., YURKOWSKI M., LARK J.G.I., PAPST M., TABACHEK J.L., 1982. Harvest and nutritional quality of *Gammarus lacustris* for trout culture. *Transactions of the American Fisheries Society*, 111: 83–89.

– MOREN, M., SUONTAMA, J., HEMRE, G., KARLSEN, O., OLSEN, R., MUNDHEIM, H., JULSHAMN, K., 2006. Element concentrations in meals from krill and amphipods. Possible alternative protein sources in complete diets for farmed fish. *Aquaculture*, 261: 174-181.

– NAIR, K.K.C., ANGER, K., 1980. Seasonal variation in population structure and biochemical composition of *Jassa falcata* (Crustacea, Amphipoda) off the island of Helgoland (North Sea). *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11: 505-513.

– OLIVER, G., TRILLES, J.P., 2000. Crustacean parasites and epizoits of sperm-whale *Physeter catodon* Linnaeus, 1758 (Cetacea, Odontoceti), in west Mediterranean Sea. *Parasite Journal De la Societe Francaise De Parasitologie*, 7: 311-321.

– PARSONS, T.R., BAWDEN, C.A., 1979. A controlled ecosystem for the study of the food requirements of Amphipod populations. *Estuarine Coastal and Marine Science*, 8: 547-553.

– PARSONS, T.R., SHARP, J.C., LI, W.K.W., 1985. The cultivation of marine amphipods and their use as food for young samonids. *Sonderdruck aus Zeitschrift angewandte Ichthyologie*, 1: 77–84.

– PINCZON DU SEL, G., BLANC, A., DAGUZAN, J., 2000. The diet of the cuttlefish *Sepia officinalis* L. (mollusca: cephalopoda) during its life cycle in the Northern Bay of Biscay (France). *Aquatic Sciences*, 62: 167-178.

– SÁNCHEZ-MOYANO, J.E., GARCÍA-GÓMEZ, J.C., 1998. The arthropod community, especially Crustacea, as a bioindicador in Algeciras Bay (Southern Spain) based on a spatial distribution. Journal of Coastal Research, 14: 1119–1133.

– SEZGİN, M., ATEŞ, A.S., KATAĞAN, T., BAKIR, K., ÖZDİLEK, Ş.Y., 2009. Notes on amphipods Caprella andreae Mayer , 1890 and Podocerus chelonophilus (Chevreux & Guerne, 1888) collected from the loggerhead sea turtle, Caretta caretta, off the Mediterranean and the Aegean coasts of Turkey. Journal of Zoology, 33: 433-437.

– SUONTAMA J., KARLSEN O., MOREN M., HEMRE G.I., MELLE W., LANGMYHR E., MUNDHEIM H., RINGO E., OLSEN R.E., 2007. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods. *Aquaculture Nutrition*, 13: 241–255.

– SYKES, A., DOMINGUES, P., CORREIA, M., ANDRADE, J., 2006. Cuttlefish culture: State of the art and future trends. *Vie et milieu*, 56: 129–137.

– TAKEUCHI, I., HIRANO, R., 1991. Growth and reproduction of Caprella danilevskii (Crustacea: Amphipoda) reared in the laboratory. Marine Biology, 110: 391-397.

– WOODS, C.M.C., 2009. Caprellid amphipods: An overlooked marine finfish aquaculture resource? *Aquaculture*, 289: 199-211.

Proyectos de investigación-conservación

Cría en cautividad y reforzamiento de Águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) en la Comunidad de Madrid.

Juan José Iglesias Lebrija[1], Pablo Izquierdo[2] y Ernesto Álvarez[3]

GREFA (Grupo para la Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat). Apdo. Correos 11. 28220 Majadahonda. Madrid. Teléfono: 916387550. Fax: 916387411.

www.grefa.org

[1] Responsable del seguimiento de águila-azor perdicera. jjil@grefa.org

[2] Responsable del programa de cría de águila-azor perdicera. cria@grefa.org

[3] Director del proyecto de águila-azor perdicera. ernesto@grefa.org

RESUMEN

*El acuciante descenso de la población ibérica de Águila-azor Perdicera (*Aquila fasciata*) lleva a pensar que la cría en cautividad y los proyectos de reforzamiento y reintroducción pueden ser un arma útil como medida de conservación para la especie. Con objeto de valorarla en la población de la especie en las sierras del suroeste de la Comunidad de Madrid, en el año 2008 se puso en marcha el "Proyecto de viabilidad del reforzamiento en el suroeste de la Comunidad de Madrid".*

El proyecto de liberación comenzó en 2010 y continuó en 2011. En total se emplearon cuatro pollos de águila-azor perdicera provenientes de ejemplares nacidos en cautividad en el Centro de Cría de GREFA (Grupo para la Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat) y dos ejemplares rescatados de nidos conflictivos cedidos por la Junta de Andalucía.

Los resultados han sido positivos. Hasta la fecha se han liberado 6 ejemplares y todos los animales sobrevivieron hasta la emancipación. Dos murieron en la dispersión (electrocución) y otro más desapareció.

La primera liberación, producida en 2010, significó la primera liberación en Europa de esta especie mediante "crianza campestre o hacking".

Palabras clave: Águila-azor perdicera, cría en cautividad, liberación, seguimiento.

INTRODUCCIÓN

El Águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) está catalogada en la Península Ibérica *en peligro de extinción* según el Libro Rojo de las Aves de España. IUCN la cataloga como *en peligro* dentro de España. En la Comunidad de Madrid está catalogada como *en peligro de extinción* con solo dos parejas reproductoras.

En el conjunto de la población española, Arroyo *et al.* (1998) constataron durante el período 1980-1990 la desaparición de 116 parejas y la colonización de tan solo dos

territorios, lo que supuso un descenso mínimo de la población del 13% de sus efectivos. Este descenso de efectivos, fue especialmente acusado en el centro y norte de la Península Ibérica, lo que impidió que las bajas producidas en la población reproductora, fueran cubiertas por individuos provenientes de otras poblaciones. Esta razón nos lleva a plantear la utilidad de un proyecto de reintroducción que sirva para colonizar antiguos territorios donde las causas de amenazas han cesado.

Hasta la década de los años ochenta del pasado siglo XX, las sierras del suroeste de Madrid albergaron una población reproductora de águila-azor perdicera que pudo llegar a estar formada por 5 – 6 parejas territoriales. Mediados los años noventa, desaparece como reproductora la última pareja de estas sierras del suroeste de la Comunidad de Madrid. A partir de ese momento, se producen avistamientos ocasionales de inmaduros y adultos divagantes.

Las causas de la extinción para el águila-azor perdicera en las sierras del suroeste de la Comunidad de Madrid, se centraron especialmente en la persecución sistemática: expolio de nidos, disparos y muerte por electrocución. Estas causas se vieron acentuadas por la tendencia global de la especie, en retroceso durante las décadas de los años ochenta y noventa del pasado siglo.

Este acuciante descenso de la población ibérica de águila-azor perdicera lleva a pensar que la cría en cautividad y los proyectos de reforzamiento y reintroducción pueden ser un arma útil como medida de conservación para la especie. Con objeto de valorarla, en el año 2008 se puso en marcha el "Proyecto de viabilidad del reforzamiento en el suroeste de la Comunidad de Madrid".

MATERIAL Y MÉTODOS

Ante la posibilidad de comenzar a liberar ejemplares nacidos en cautividad se encargó el "Estudio de Viabilidad del Reforzamiento" a la empresa FICAS (Fondo para la Investigación de los Animales Salvajes y su Hábitat). El trabajo fue realizado en dos fases, la primera definiría la posibilidad de realizar la liberación ("Viabilidad para la recuperación del águila-azor perdicera en la Comunidad de Madrid", 2008) y la segunda realizaría una valoración de los distintos enclaves posibles ("Análisis de viabilidad para la reintroducción del águila-azor perdicera (*Hieraaetus fascitatus*) en el suroeste de la Comunidad de Madrid; Selección de enclaves de reintroducción", 2009).

Para valorar los distintos lugares a elegir, se han tenido en cuenta los siguientes parámetros como requisitos que ha de cumplir el *enclave de liberación*:

» *Facilidad de acceso*. Muy importante para la alimentación de los pollos y posterior seguimiento.

» *Ausencia de especies sensibles*. En la zona de suelta no debe haber presencia como nidificantes, de especies sensibles de conservación: buitre negro (*Aegypius monachus*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), milano real (*Milvus milvus*) y/o cigüeña negra (*Ciconia nigra*). La interacción con especies territoriales como el águila imperial (*Aquila adalberti*) y águila real (*Aquila chrysaetos*) puede llegar a ser muy negativa para la reintroducción.

» *Posibilidad de realizar instalaciones de suelta*. Es necesario realizar adecuaciones de cuevas naturales para poder depositar a los pollos con garantías.

» *Ausencia de puntos negros para la especie*. La electrocución y colisión con tendidos son la máxima amenaza para esta especie.

» *Características del hábitat*. El área de suelta debe reunir los requisitos ecológicos para la especie.

Proyectos de investigación-conservación

El enclave de liberación seleccionado se encuentra dentro del ZEC (Zona de Especial Conservación) "Cuencas de los Ríos Alberche y Cofio". Se trata de una zona cercana al río Cofio con mosaico de vegetación predominando el pino resinero (*Pinus pinaster*).

En 2009 nacieron en GREFA (Grupo para la Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat) las dos primeras águilas-azor perdiceras criadas en cautividad en España mediante cría natural (Foto 1). Las liberaciones comenzaron en el año 2010 y en total se han liberado 6 ejemplares entre 2010 y 2011, cuatro nacidos en el Centro de Cría de GREFA (ver anexo) y dos cedidos por la Junta de Andalucía tras haber sido rescatados de nidos conflictivos (Foto 2).

Foto 1. Primer ejemplar nacido en cautividad en 2009.
Autor: J.J. Iglesias.

Foto 2. Romero y Torvisco nacidos en GREFA en 2011.
Autor: J.J. Iglesias.

La plataforma de liberación es una cueva natural adaptada con un tubo de PVC (80mm-100mm de diámetro) para la alimentación de los ejemplares. El tubo de PVC es de vital importancia para evitar el contacto directo de los pollos con las personas.

La metodología de liberación se basa en la filopatría (tendencia de las especies a volver a criar en el lugar de nacimiento). Para ello utilizamos el método "Hacking o crianza campestre" que consiste en liberar a los ejemplares cuando ya son capaces de alimentarse por sí solos con la comida que se le aporta, pero todavía no son capaces de volar. Con esto conseguimos el "imprinting" a la plataforma de liberación y posteriormente volverán a ésta para conseguir el alimento que le seguiremos facilitando hasta su posterior emancipación del área.

Foto 3. Seguimiento en el área de liberación.

Todos los ejemplares de este proyecto han sido marcados con anillas oficiales metálicas, anillas de PVC de lectura a distancia y transmisores satelitales GPS (Microwave) junto con uno terrestre (UHF-VHF). Los transmisores (<5%del peso del ave) son colocados entre 45-50 días para minimizar riesgos y son del tipo mochila. Una vez los pollos son revisados, realizado el control veterinario y marcados ya pueden ser depositados en el nido.

Una vez dentro de la plataforma de liberación se les alimenta a diario, previo a la salida del sol, y se les vigila durante todas las horas con luz solar. Posteriormente a su primer vuelo se les comienza a colocar comida cerca de la plataforma para facilitar el regreso a ésta. Durante todo el tiempo posterior se siguen vigilando y siguiendo con ayuda de la telemetría, a la vez que se siguen alimentando las águilas-azor perdicera para mantenerlas en el área de liberación el mayor tiempo posible (Foto 3).

Con el objetivo de poder realizar una comparativa con la población silvestre existente en la comunidad de Madrid se marcaron con transmisor satelital dos ejemplares. En 2009 un adulto reproductor y en 2010 un pollo en su nido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 2010 fueron liberados dos ejemplares, "Jaén" y "Graná", ambos procedentes de cría en cautividad, los primeros de su especie que iban a ser reintroducidos por el método de "Hacking" en Europa.

Ante los buenos resultados de 2010, en 2011 se continua con el proyecto y se liberan 4 ejemplares (2 machos y 2 hembras) (Tabla 1, Foto 4).

Tabla 1. Ejemplares liberados.

AÑO	NÚMERO	PROCEDENCIA	SEXAJE
2010	2	Cria en cautividad	Macho y hembra
2011	4	Cria en cautividad y cedidos por Andalucía	2 Machos y 2 hembras

Foto 4. Jara, Atalaya, Romero y Torvisco. Liberados en 2011. *Foto*: J.J. Iglesias.

Los primeros movimientos fuera del nido de los ejemplares ocurrieron cuando tienen entre 57-64 días (M=60,16, DesvStan=2,48; n=6). Se trata de ejemplares muy activos que pueden salir del nido aunque todavía no puedan volar activamente

La estancia en el área de liberación después del primer vuelo se encuentra entre los 67 días y los 115 días (M=94,67, DesvStan=17,96; n=6). Previamente a la emancipación habían ocurrido algunas incursiones fuera del área de reforzamiento.

Proyectos de investigación-conservación

Todos los ejemplares sobrevivieron en la época de dependencia en el área de liberación. De los 6 ejemplares, dos se han comportado como grandes dispersantes (distancia máxima: 544 Km y 506 Km), dos como poco dispersantes (distancia máxima: 129 Km y 93 Km) y otros dos perecieron durante el principio de su emancipación.

De los 6 ejemplares, 3 siguen vivos y emitiendo; 2 murieron electrocutados en tendidos corregidos dentro de la Comunidad de Madrid, y uno desapareció su señal en la Laguna de la Janda (Cádiz) (Figura 1).

Figura 1. Movimientos de Graná hasta su desaparición en Cádiz.

Jaén, el ejemplar liberado en 2010 volvió en varias ocasiones al área de liberación cuando los pollos liberados en 2011 estaban todavía presentes.

El ejemplar marcado en nido silvestre en el este de la comunidad de Madrid nos ha mostrado que su emancipación se produjo antes que la de los pollos reintroducidos [(M=94,67, DesvStan=17,96; n=6) frente a (M=72, n=1)] y sus retornos al área de nacimiento han sido significativamente menores que los realizados por los ejemplares liberados.

Los transmisores satelitales nos permiten calcular fielmente el área de campeo de los ejemplares. Así pues, calculando el MCP 95% y MCP 50%, es decir calculando el área mínima que englobaría el 95% y 50% de las posiciones respectivamente, obtenemos interesantes resultados. Durante el primer mes de vida Pezuela, el individuo silvestre, utiliza un área mucho menor a la media de los ejemplares reintroducidos, posiblemente vinculado a la presencia de los padres que les proporcionan el alimento (Tabla 2, Figura 2).

Tabla 2. Comparativa área de campeo ejemplares silvestres y reintroducidos.

	PEZUELA (N=1) HECTÁREAS	MEDIA DE EJEMPLARES REINTRODUCIDOS (N=6) HECTÁREAS	DESVIACIÓN STANDARD
MCP 50	0,05284818	2,9099147833	1,4650585311
MCP 95	3,47242817	20,2951692333	10,6296154445

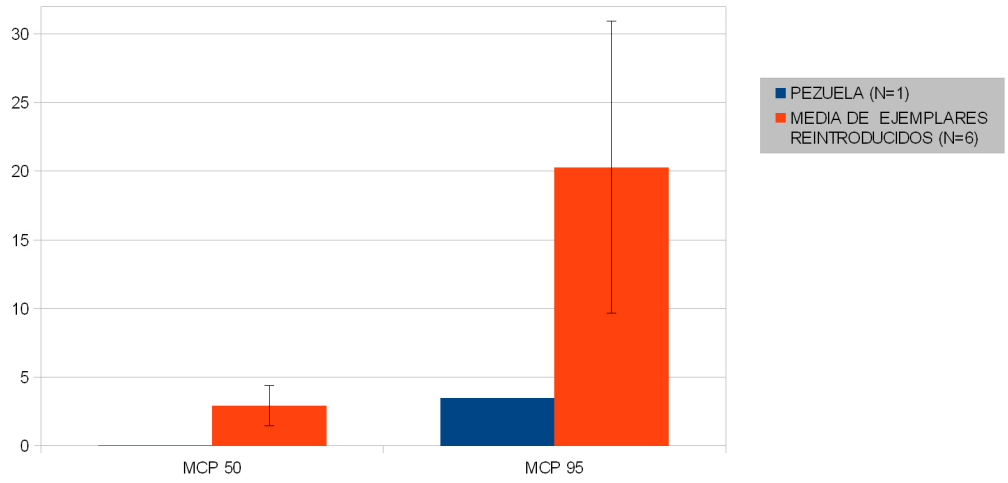


Figura 2. Comparativa área de campeo (Ha) ejemplares silvestres y reintroducidos en su primer mes después de volar.

El primer año sirvió para afianzar conocimientos y descubrir otros nuevos. Por ello, mejoramos la técnica de liberación provocando que los ejemplares liberados estuvieran más tiempo en el área de liberación. Factores que han influido en esto son:

» Fenología más temprana de la reintroducción. El primer año se liberaron el 18 de Junio y el segundo el 2 de Mayo.

» Mayor número de ejemplares. Al tratarse de cuatro ejemplares las interacciones entre ellos eran significativamente mayores y cuando algunos ejemplares hacían pequeños desplazamientos siempre quedaba algún otro en el área a su regreso, lo que le facilitaba su nueva sedimentación en el área.

El método hacking o crianza campestre en cueva natural abierta es un método útil para liberar los ejemplares ya que los 6 ejemplares volvieron a alimentarse a la zona después de sus primeros vuelos y se quedaron en el área un mínimo de 67 días, por lo que, aparentemente, son suficientes de 9-15 días sin poder volar para la impregnación con "el nido" por parte de las águilas-azor perdicera.

El efecto de la reintroducción ha provocado la polarización al área por parte de ejemplares silvestres habiéndose registrado hasta 7 observaciones de águilas-azor perdicera exógenas al proyecto. Las edades comprendidas entre adulto, inmaduro y joven.

Los individuos reintroducidos tienen más posibilidad de volver a la zona de "nacimiento" debido a que "no existen" unos padres que repelan la entrada a su territorio de nidificación, lo que en los sucesivos años puede favorecer la colonización del área por los ejemplares liberados como reproductores.

AGRADECIMIENTOS

Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, FIDA, Agustín Madero, Fernando Feas, Salvador Castillo, Manuel Galán, Sandra Sierra, Sandra Goded, Fernando Blanca, Juan Martínez, Fernando Garcés, Ana Grau, Jorge Rodríguez, Agentes Forestales de la Comunidad de Madrid, Diana del Río, Enmanuel Cariño, Ignacio Otero, Mario Álvarez, Liliana Barrosa, Víctor García, Fernando González, José Luís Mendoza, Irene López, Marcia Viana, Sara Casado, Ficas, Juan Pablo Díaz.

BIBLIOGRAFÍA

– ARROYO, B., BUENO, J.M., PÉREZ-MELLADO, V., 1976. Biología de reproducción de una pareja de *Hieraaetus fasciatus* en España Central. *Doñana Acta Vertebrata*, 3: 33-45.

– ARROYO, B., FERREIRO, E., GARZA, V., 1990. Inventario de la población española de Águila Perdicera *Hieraaetus fasciatus* y sus áreas de cría. ICONA. Madrid.

– ARROYO, B., FERREIRO, E., GARZA, V., 1998. Causas de la regresión del Águila Perdicera *Hieraaetus fasciatus* en España Central. Pp. 291-304. En: Chancellor, R. D., Meyburg, B.-U., Ferrero, J. J. (Eds.). *Holarctic Birds of Prey*. ADENEX-WWGBP.

– BAUTISTA, J., CALVO, R. OTERO, M., MARTÍN, J., J. M., 1999. Águilas Perdiceras mueren electrocutadas en los tendidos del suroeste de Granada mientras se dispersan. *Quercus*, 165: 49.

– BAUTISTA, J., GIL-SÁNCHEZ, J.M, MARTÍN, J., OTERO, M. ,MOLEÓN, M., 2004. La dispersión del águila real y el águila perdicera en Granada. *Quercus*, 223: 10-15.

– BAUTISTA, J., ROMÁN, A., JIMÉNEZ, J. J., LUQUE, J. J., FERNÁNDEZ, F., 2003. Málaga, principal santuario ibérico para el águila perdicera. *Quercus*, 204: 18-22.

– CARRETE, M., SÁNCHEZ-ZAPATA, J., MARTÍNEZ, J. E., CALVO, J. F., 2002a. Predicting the implications of conservation management: a territorial occupancy model of Bonelli's eagle in Murcia , Spain. *Oryx*, 36 (4): 349-356.

– CARRETE, M., SÁNCHEZ-ZAPATA, J., MARTÍNEZ, J. E., SÁNCHEZ, M. A., CALVO, J. F., 2002b. Factors influencing the decline of a Bonelli's eagle population *Hieraaetus fasciatus* in southeastern Spain : demography, habitat or competition? *Biodiversity and Conservation*, 11: 975-985.

– CARRETE, M., SÁNCHEZ-ZAPATA, J., TELLA, J.L., GIL-SÁNCHEZ, J.M., MOLEÓN, M., 2006. Components of breeding performance in two competing species: habitat heterogeneity, individual quality and density-dependence. *Oikos*, 112: 680-690.

– LÓPEZ-LÓPEZ, P., GARCÍA-RIPOLLÉS, C., AGUILAR, J.M., GARCÍA-LÓPEZ, F., VERDEJO, J., 2006. Modelling breeding habitat preferentes of Bonelli's eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *J. Ornithol*., 147: 97-106.

– LÓPEZ-LÓPEZ, P., GARCÍA-RIPOLLÉS, C., SOUTULLO, A., CADAHIA, L., URIOS, V., 2007. Are important bird areas and special protected areas enough for conservation?: the case of Bonelli's eagle in a Mediterranean area. *Biodiversity and Conservation*, 16 (13): 3755-3780.

– LÓPEZ-LÓPEZ, P., GARCÍA-RIPOLLÉS, C., URIOS, V., 2007. Population size, breeding performance and territory quality of Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* in eastern Spain. *Bird Study*, 54 (3): 335-342.

– LÓPEZ-LÓPEZ, P., SOUTULLO, A., GARCÍA-RIPOLLÉS, C., URIOS, V., CADAHIA, L., FERRER, M., 2009. Markov models of territory occupancy: implications for the management and conservation of competing species. *Biodiversity and Conservation*, 18 (5): 1389-1402.

– REAL, J., 2004. Águila-Azor Perdicera, *Hieraaetus fasciatus*. En: A. Madroño, C. González y J.C. Atienza (Eds.) *Libro Rojo de las Aves de España*. Dirección General para la Biodiversidad-SEO/Birdlife. Madrid. Pp. 154-157.

– REAL, J. BROS, V., 1984. Estudios para lograr la recuperación del Águila perdicera en Cataluña. *Quercus*, 14: 10-13.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

– http://www.madrid.org

– http://www.vertebradosibericos.org/aves/reproduccion/hiefasre.html

ANEXO: CRÍA EN CAUTIVIDAD DE ÁGUILA-AZOR PERDICERA

GREFA lleva trabajando con la reproducción en cautividad de rapaces casi desde sus inicios: comenzó con la reproducción del Cernícalo primilla (*Falco naumanni*) y especies más comunes como la Lechuza común (*Tyto alba*) y el Cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*). En la actualidad GREFA ha conseguido reproducir en cautividad especies como el Águila real (*Aquila chrysaetos*), el Buitre negro (*Aegypius monachus*) y el Águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*).

Uno de estos proyectos es el de la cría y reforzamiento del Águila-azor perdicera, quizás el más ambicioso y en el que se consiguen cada año numerosos avances.

Cuando se planteó la idea de reproducir esta especie en cautividad, el principal problema consistía en conseguir un stock reproductor suficiente para satisfacer las demandas de nuestros proyectos de re-introducción. La principal fuente de ingresos de ejemplares para este stock eran, y siguen siendo, los centros de recuperación y las administraciones que prestaron su ayuda a este proyecto. Estos ejemplares, en muchos casos, padecen lesiones que dificultan, si no imposibilitan, su éxito reproductor en condiciones de cautividad. Su proceso de adaptación a las instalaciones, al manejo, a la alimentación y la adecuación de sus comportamientos y cortejos a estos espacios pueden llevar años. Las parejas adquiridas por esta vía que han llegado a mostrar comportamientos reproductivos lo han hecho tras más de 10 años en cautividad.

Es por eso que en 2007, gracias a la colaboración de la Junta de Andalucía, se incorporaron al stock de cría ejemplares jóvenes cuyas posibilidades de supervivencia en nidos salvajes eran escasas: en gran parte de estos casos los ejemplares, en el momento del rescate, manifestaban infecciones que tuvieron que ser tratadas en nuestro centro. Se trataba de los ejemplares más jóvenes de nidadas en las que el porcentaje de pollos volados en años anteriores era mínimo. Estos ejemplares, tras un proceso de socialización en GREFA han conseguido ser emparejados con éxito y, a día de hoy, están manifestando sus primeros celos y aportando material al nido.

En 2009 eclosionaron 5 ejemplares de Águila-azor perdicera en nuestras instalaciones, procedentes de una misma pareja reproductora. Esta pareja, cedida hace años por la Junta de Andalucía, se adaptó a la cautividad y consiguió criar con éxito. Los resultados han mejorado desde entonces, consiguiendo grandes avances en las técnicas de incubación artificial (en los últimos dos años han eclosionado con éxito 8 ejemplares en nuestras incubadoras y no se ha producido ningún aborto) y en el manejo de las parejas (se ha conseguido nuevas parejas estables que se han utilizado como nodrizas con éxito).

Proyectos de investigación-conservación

Programa Andarríos: la sociedad implicada en la investigación y la conservación de los ecosistemas acuáticos andaluces.

Alfonso Rodríguez de Austria Giménez de Aragón

Ecotono SCA.

www.ecotonored.es

RESUMEN

El programa Andarríos, de participación para la conservación de los ríos de Andalucía se pone en marcha en el año 2007 de la mano de la Consejería de Medio Ambiente, con el objetivo principal de promover la implicación activa de la sociedad en la evaluación, conservación y mejora de los ríos andaluces. El programa coordina el trabajo voluntario de varias decenas de asociaciones (201 en su edición 2011) que evalúan, con una metodología común, el estado de los ríos de Andalucía. Las asociaciones que se inscriben reciben la formación y los materiales adecuados para participar, y tras esta formación eligen de forma autónoma qué tramo de río y qué día, dentro de la estación primaveral, realizarán la toma de datos que permita conocer el estado del ecosistema ripario. Los datos se recogen en un documento modelo igual para todas, que es remitido por correo electrónico al programa junto con los de las demás asociaciones. Con esta información se realiza un informe memoria que tiene entre sus objetivos ofrecer a la sociedad en general y a las personas que gestionan los ecosistemas acuáticos, la posibilidad de cruzar la información científica y técnica con la información aportada por el tejido social, conocedor de su entorno cercano. El proceso termina con una jornada de presentación del Informe en los últimos meses del año, en los que nos hemos venido reuniendo alrededor de 80-100 personas, y con la difusión del informe entre las asociaciones participantes y las personas implicadas en la gestión del agua en Andalucía.

Palabras clave: voluntariado, ríos, calidad de las aguas, participación social.

INTRODUCCIÓN

En el año 2006 Dirección General de Educación ambiental y Sostenibilidad de la Consejería de Medio Ambiente encargó el diseño del programa Andarríos a Ecotono SCA, una cooperativa dedicada a la educación ambiental fundada en 2001. Para su diseño, llevado a cabo por Juan Matutano Cuenca y Ana Jiménez Talavera en coordinación con el personal de la citada Dirección General, se parte de varios antecedentes, tanto a nivel estatal como europeo, cuyas formas de funcionamiento y metodologías son analizadas para adaptar las mejores ideas al modelo andaluz. La base de todas estas iniciativas, de las que citaremos sólo alguna, es la misma: la implicación de la sociedad en la evaluación de los ecosistemas.

El programa Coastwatch, funcionando en Andalucía bajo el nombre de Cuidemos la costa, nació en Irlanda y actualmente se lleva a cabo en casi todos los países europeos

con costa. Colectivos ambientales, escolares o universitarios realizan periódicamente un análisis y llevan a cabo una limpieza de un tramo de costa que han 'adoptado' previamente. (www.coastwatch.org)

Projecte Rius (www.projecterius.org) en Cataluña, Proxecto Ríos (www.proxectorios.org) en Galicia o VoluntarRíos (www.voluntarrios.org) en Aragón son otras iniciativas regionales que tienen similitudes (también diferencias) con el Programa Andarríos.

Foto 1. Taller sobre anfibios y reptiles y el programa SARE.

En las seis ediciones de Andarríos llevadas a cabo hasta la fecha (2007–2012) se han realizado más de treinta jornadas formativas por toda la geografía andaluza, jornadas con una parte teórica y otra práctica en la que se explica el muestreo *in situ*. Paralelamente se han realizado tres talleres formativos, dos en el año 2009 y uno en el 2011. El objetivo de los talleres, de un fin de semana de duración, ha sido proporcionar a las personas asistentes formación especializada en diversos temas relacionados con los ecosistemas acuáticos. El primero de ellos, celebrado en Loja, Granada, fue sobre acuíferos, fuentes y manantiales, y se contó con la colaboración docente del Instituto del agua de la Universidad de Granada. El segundo, celebrado en Víznar, Granada, tuvo como temática la identificación de macroinvertebrados acuáticos, y fue impartida por voluntarios de la asociación ACPES (Asociación para la Conservación Piscícola y de los Ecosistemas Acuáticos del Sur). El tercer taller tuvo lugar en Andujar, Jaén, el tema fueron anfibios y reptiles y fue impartido por integrantes de la Asociación Herpetológica Española. Mientras que a raíz del primer taller nacieron sinergias entre los voluntariados del programa Andarríos y el proyecto Conoce tus fuentes, en el tercero sucedió lo propio con el Programa SARE, de seguimiento de anfibios y reptiles, de formas que los tres proyectos de voluntariado se retroalimentan entre sí.

METODOLOGÍA

Una premisa básica a la hora del diseño del Programa Andarríos era que cualquier asociación que quisiese participar pudiera hacerlo sin verse limitada por la falta de conocimientos técnicos. Por ello, gran parte del esfuerzo se volcó en la elaboración de una metodología de toma de datos que pudiese ser transmitida en una jornada de formación teórico-práctica, y que no conllevase una excesiva dificultad. Además, se elaboró un protocolo de diagnóstico que sirviera de guía a las asociaciones participantes.

Proyectos de investigación-conservación

Figura 1. Listado y aspecto de los materiales proporcionados a las Asociaciones participantes en Andarríos.

El muestreo está dividido en tres bloques: parámetros físico-químicos, parámetros biológicos e impactos. Previamente se ha realizado una caracterización general del tramo, por la cual sabemos los usos actuales y tradicionales que se hacen o hacían del tramo o los elementos construidos que aparecen en el mismo.

Entre los parámetros físico-químicos se mide el caudal, la apariencia, el color y el olor del agua, la temperatura del aire y del agua, su transparencia, y la acidez y presencia de nitratos en la misma.

Entre los parámetros biológicos se detecta la presencia de flora y fauna relevante en el río; se analiza el estado ecológico de la vegetación de ribera, valorando su estructura y complejidad, conectividad, y continuidad (según una tabla de puntuaciones que nos da el Índice de la Calidad de la Vegetación de Ribera, ICVR); y se hace un muestreo de 15 minutos sobre los macroinvertebrados presentes en el tramo, contrastándose posteriormente con otra tabla que nos da como resultado el Índice Biológico de la Calidad del Agua, IBCA. Los índices ICVR y IBCA han sido creados específicamente para el programa Andarríos, basados en índices como el IVF (Índice de Vegetación Fluvial, diseñado por Gutiérrez *et al.* en el año 2001) o el IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party, diseñado por Alba-Tercedor *et al.* en el año 2002, sobre la base del BMWP creado en primer lugar por Hellawell para los ríos de Gran Bretaña en 1978).

Fotografías de diversos aspectos del muestro.

En la sección de impactos se analiza el estado del ecosistema ripario, en base a los signos de erosión, la presencia de especies exóticas de flora y fauna,, vegetación dañada, restos de vegetación quemada o animales acuáticos muertos. Finalmente, también se valora la presencia y cantidad de residuos y vertidos de varios tipos (según el tamaño, de la construcción, excrementos, etc).

RESULTADOS

PARTICIPACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS TRAMOS

En el año 2007, año de comienzo de Andarríos participaron 93 entidades que analizaron 130 tramos entre un total de 75 ríos andaluces. Esto supuso una movilización de 560 personas que voluntariamente se acercaron a los ríos para realizar el muestreo, teniendo en cuenta que la media de los grupos que hacen el muestreo es de seis personas. Esta cifra ha ido creciendo progresivamente hasta alcanzar en 2011 las 201 entidades participantes y los 256 tramos inspeccionados en 147 ríos y arroyos de Andalucía, lo que supone una movilización de alrededor de 1.200 personas.

De esta forma, uno de los mayores logros de Andarríos es la implicación de personas pertenecientes a asociaciones de tipología muy diversa, consiguiendo que además de las asociaciones ambientalistas, se acerquen y participen en la evaluación de los ríos andaluces personas pertenecientes a asociaciones culturales, deportivas, juveniles, de pesca, de mujeres, vecinales, ampas, scouts, de personas con capacidades diferentes...

Sumando todos los tramos analizados se han cubierto 209 kilómetros, distribuidos de forma bastante homogénea por todo el territorio andaluz, como se aprecia en los mapas de calidad del agua, estado de la vegetación e impactos. Aunque la elección de los tramos depende siempre de las asociaciones, el considerable número de puntos de muestreo consigue que se obtenga una imagen aproximada de la red hidrográfica de Andalucía.

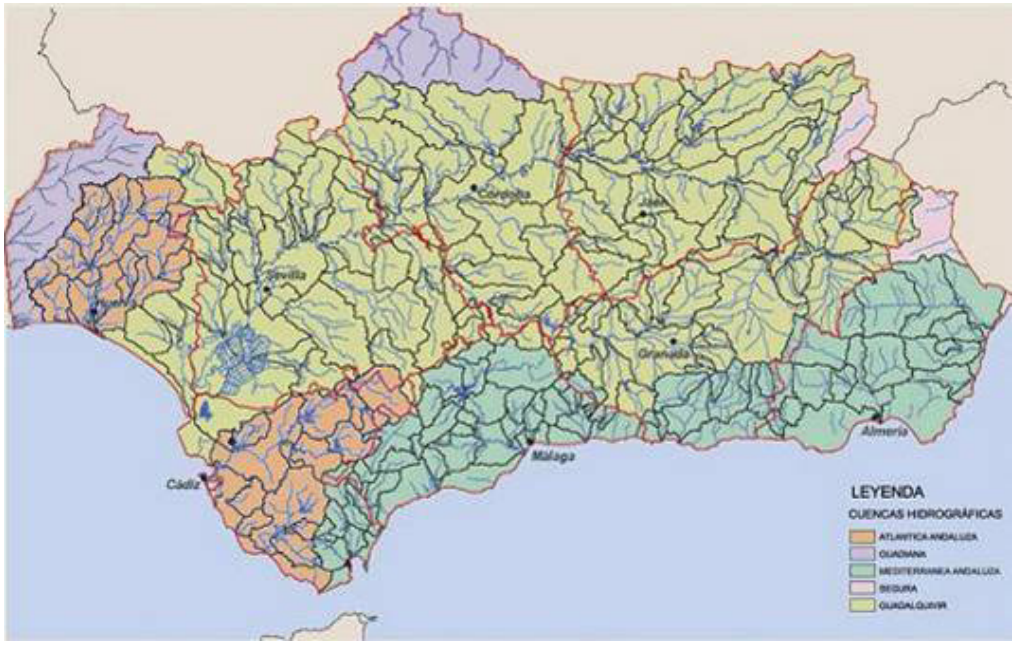
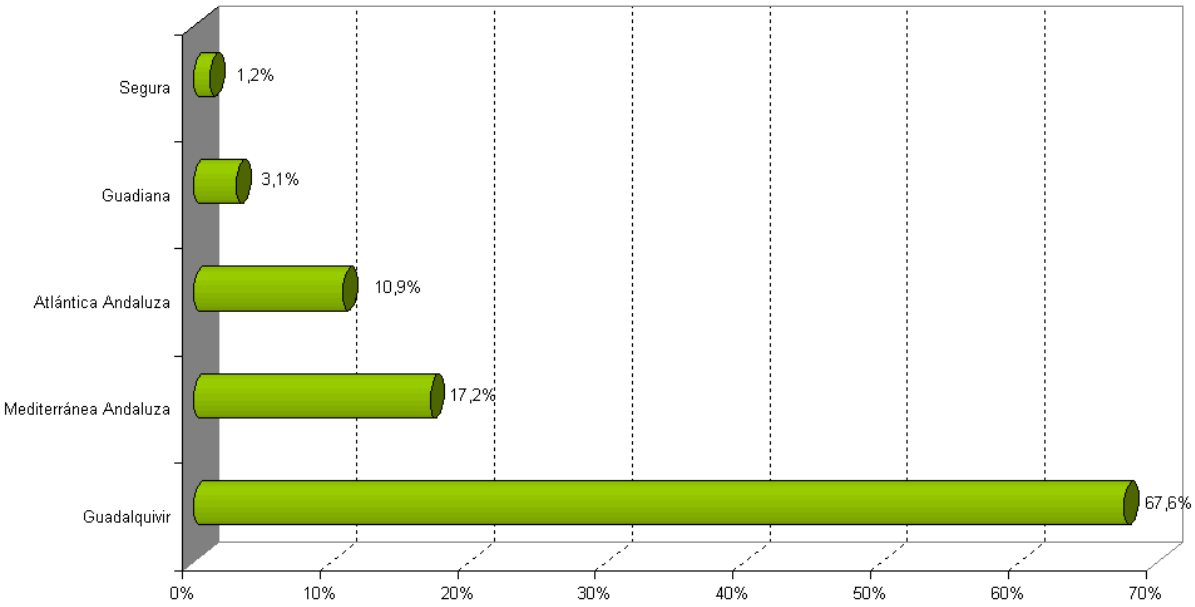


Figura 2. Cuencas Hidrográficas presentes en Andalucía.

Tomando como referencia los datos del informe de 2011[1], la distribución de los tramos por cuenca hidrográfica es la siguiente: El 67,6% de los tramos pertenece a a la CH del Guadalquivir, el 17,2% a la CH Mediterránea Andaluza, el 10,9% a la Atlántica Andaluza, el 3,1% a la CH del Guadiana y el restante 1,2% a la CH del Segura.

Gráfica 4: Tramos por cuenca



Los resultados de los muestreos en los ríos están relacionados con el año hidrológico (de septiembre a agosto), que en 2010-2011 fue moderadamente húmedo en las cuencas Mediterránea Andaluza, del Guadalquivir y del Guadiana.

Por otra parte, en cuanto a la proporción de tramos repartidos en la dimensión longitudinal de los ríos, el 57% de los tramos escogidos están en el curso medio del río, mientras que el 23,4% lo está en el curso alto y el 19,5% en el curso bajo.

Finalmente, el 67,2% de los tramos analizados estaban en ríos de caudal permanente, el 30,1% en ríos y arroyos de caudal temporal y el 2,7% en torrenteras y ramblas.

IMPACTOS DETECTADOS

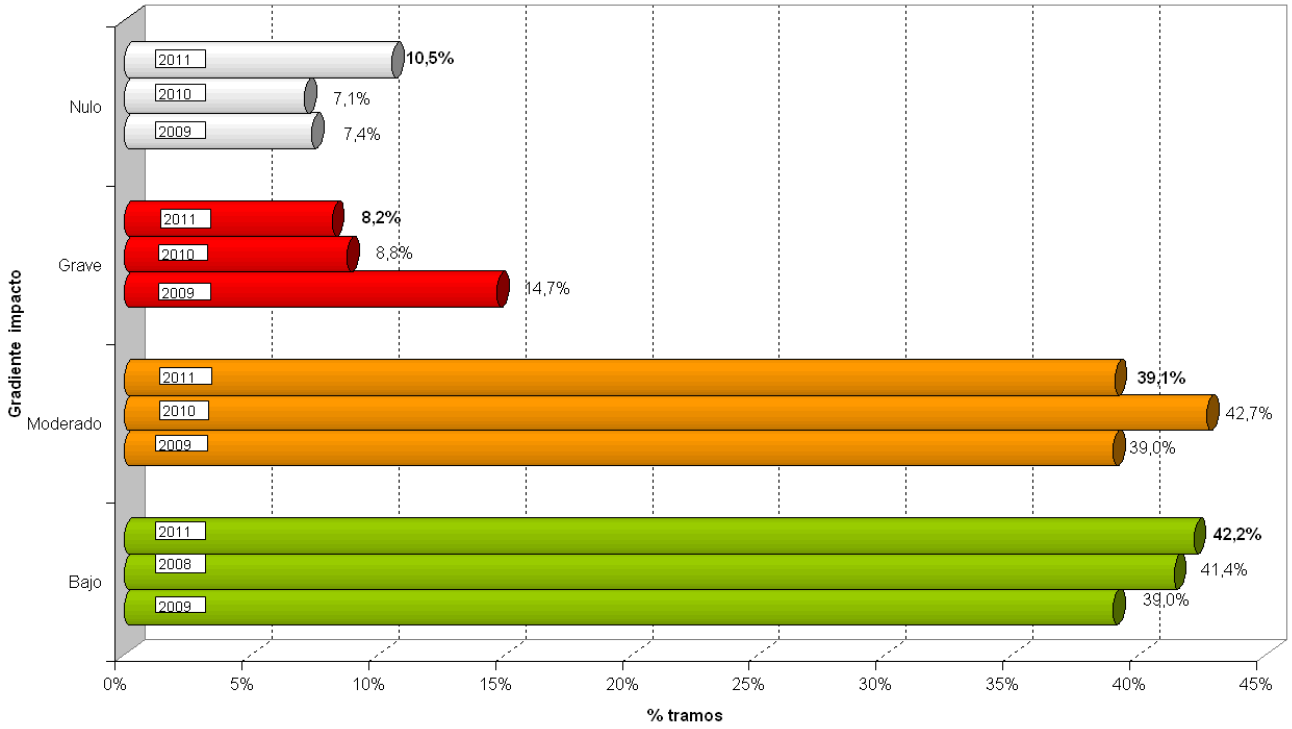
El gradiente de impactos de origen antrópico que sufren los tramos parece estabilizado, a lo largo de los años de análisis, como se muestra en la siguiente gráfica comparativa de los años 2009, 2010 y 2011. Alrededor del 40% de los tramos presentan un grado bajo de impactos, y el mismo porcentaje de tramos tienen un grado medio de impactos. Los impactos graves aparecen en torno al 8-9% (disparado al 14% en el año 2009), y en tono al 7-10% de los análisis se han considerado nulos por diferentes motivos.

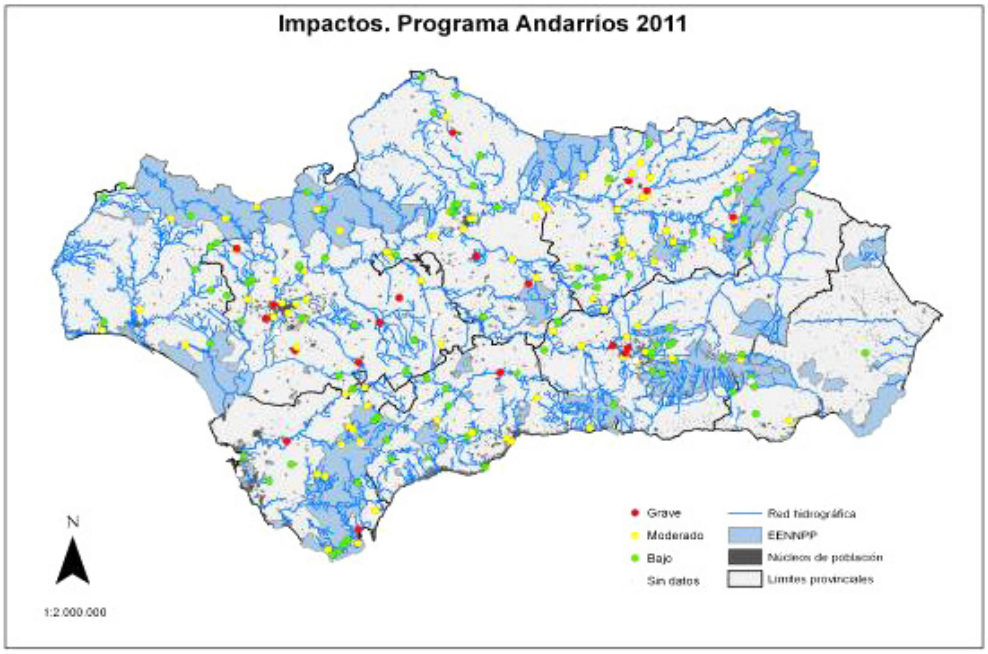
[1] Las siguientes gráficas y mapas están extraídas del Informe aAndarríos 2011, manteniendo la numeración con que aparecen en el mismo. Es posible consultar los cinco informes en la página web www.juntadeandalucia.es/medioambiente o en el enlace Programa Andarríos.

Proyectos de investigación-conservación

Desglosando los impactos podemos resaltar que el 75% de los tramos estaba afectado por los residuos sólidos (192 tramos), mientras que el 24,2% (62 tramos) lo estaba por vertidos. 35 (13,7%) tramos sufrían una alteración de caudal y 19 (7,4%) una invasión del Dominio Público Hidráulico.

Gráfica 22: Grado de impacto sobre tramos



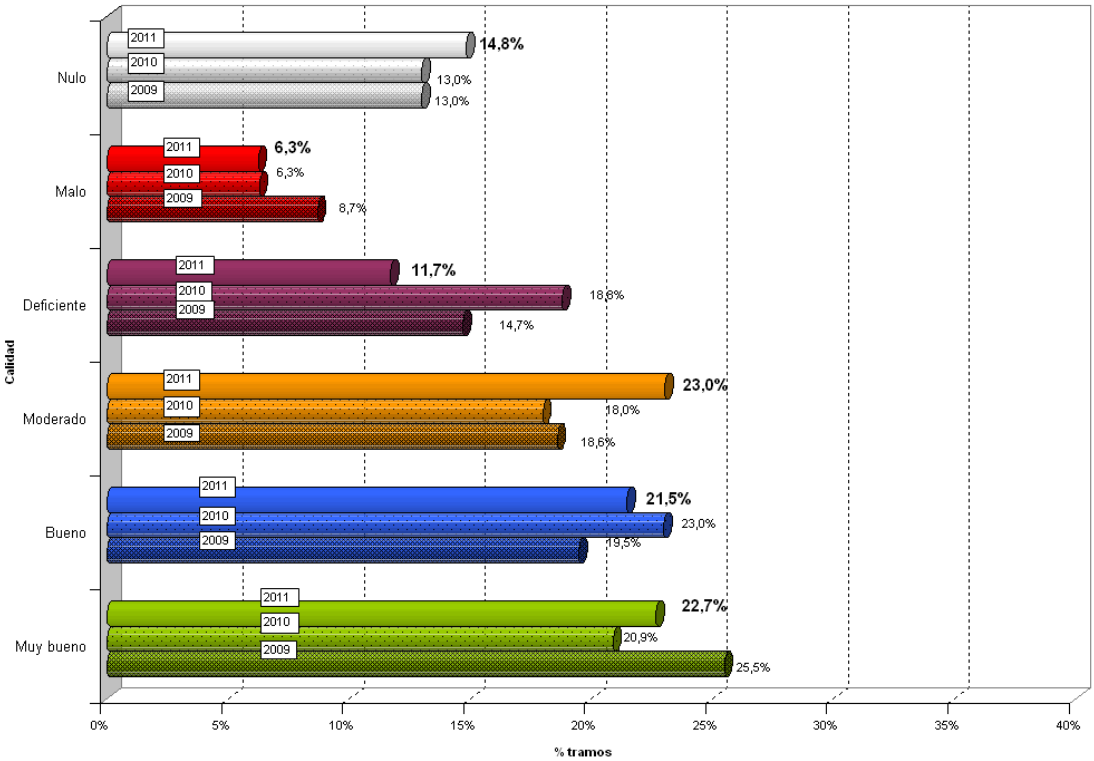


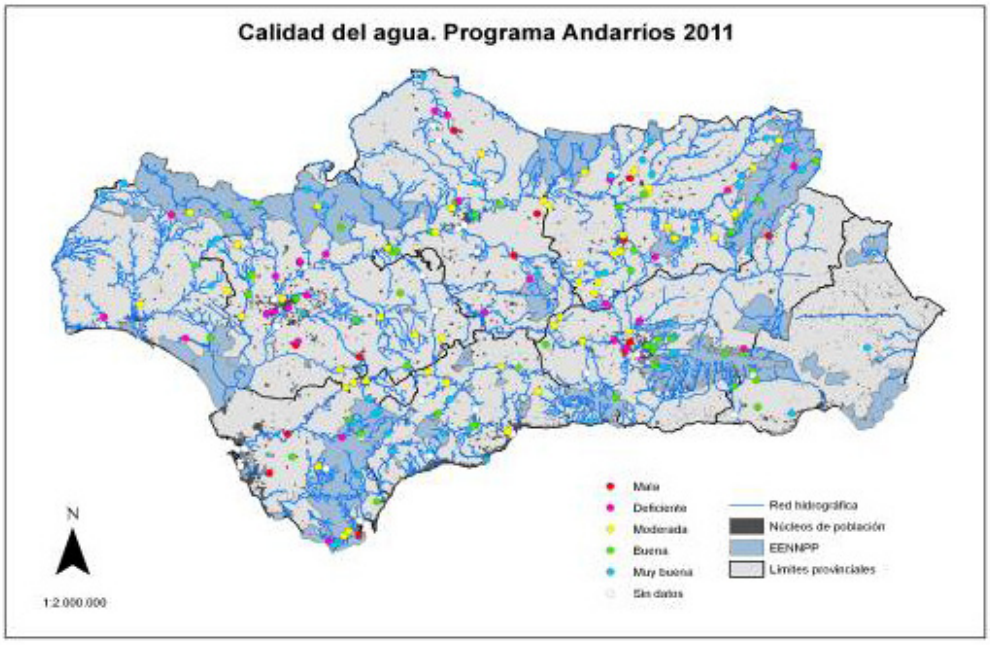
Proyectos de investigación-conservación

CALIDAD DEL AGUA

El estudio de la calidad del agua según el muestreo de macroinvertebrados (el IBCA creado expresamente para Andarríos sobre la base del BMWP), en un gradiente de cinco (desde mala a muy buena), arroja unos resultados algo menos estables a lo largo de los años: En general (para más detalle ver la gráfica) podemos afirmar que entre el 20-25% de los tramos presenta una calidad del agua muy buena, cifra muy similar al siguiente grado, calidad buena, 20-23%. La calidad moderada del agua aparece en el 18-23% de los tramos. Los arcos más abiertos de porcentaje son los de la calidad deficiente del agua, 12-19%, y la mala, 6-9%.

Gráfica 18: Calidad del agua en 2009, 2010 y 2011 según el estudio de macroinvertebrados (IBCA)



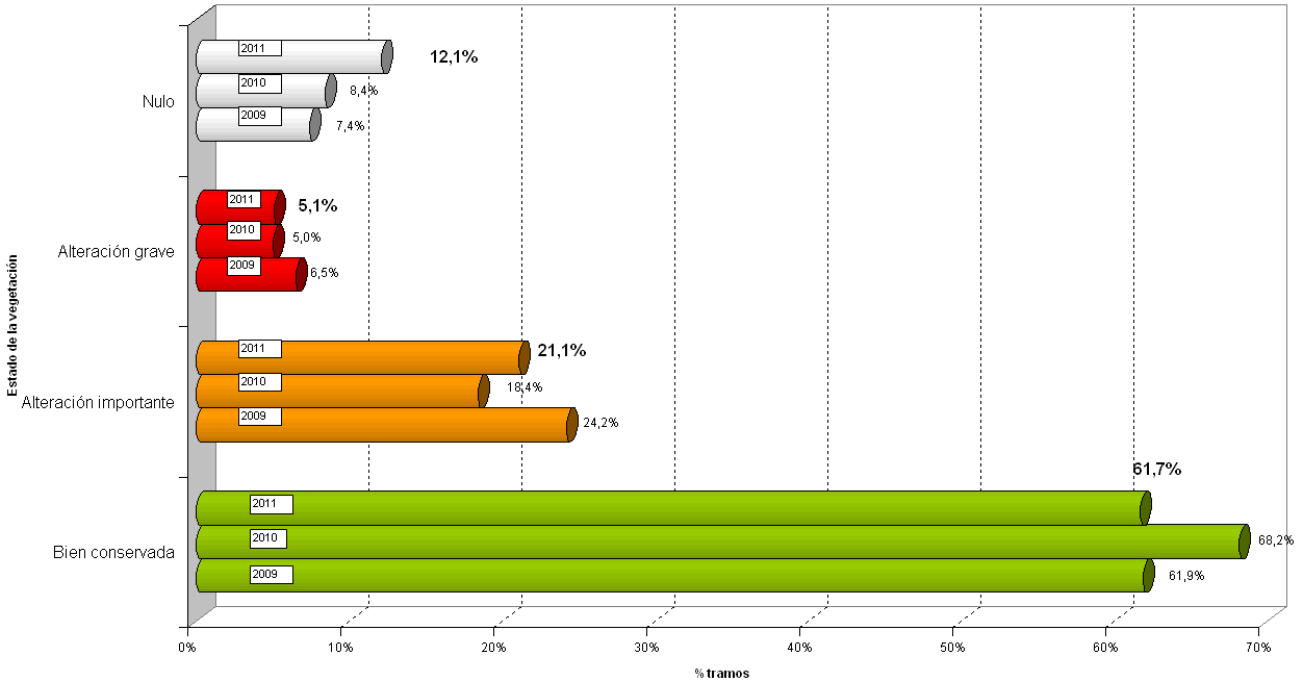


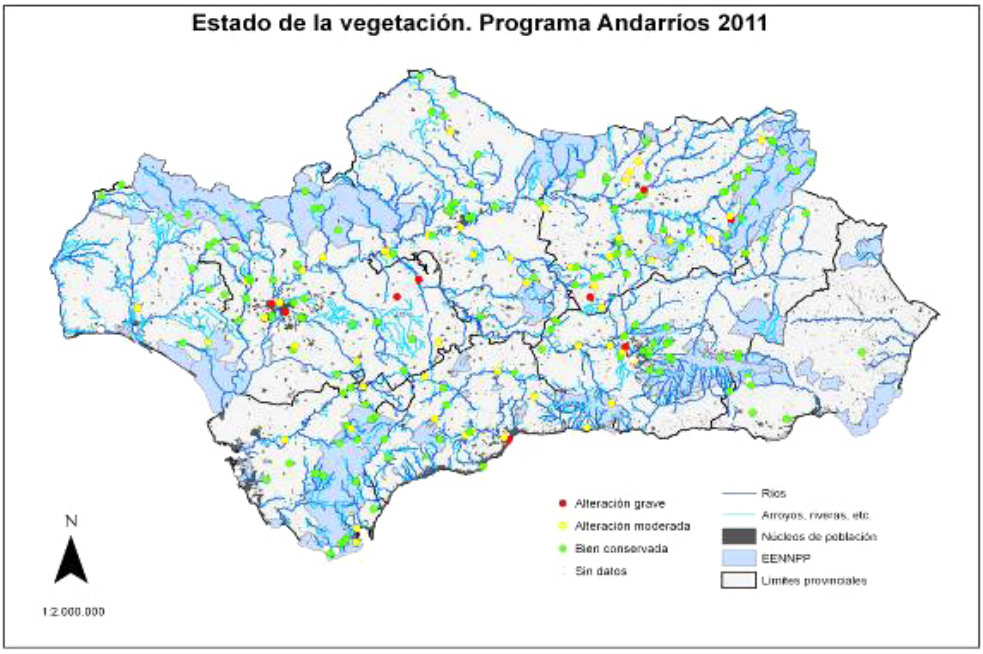
Proyectos de investigación-conservación

CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA

Para finalizar, los resultados sobre calidad de la vegetación de ribera (ICVR) , en un gradiente de tres, ofrece los siguientes resultados: La vegetación bien conservada es la tónica dominante en la mayoría de tramos analizados, entre 62-68% de los tres últimos años de programa andarríos. Entre el 21-24% de los tramos han presentado alteraciones importantes, y alrededor del 5% presentaban alteraciones graves de muy difícil recuperación.

Gráfica 19: Calidad de la vegetación de ribera en 2009, 2010 y 2011 según ICVR





DISCUSIÓN

De las tres patas del programa andarríos, participación, investigación y conservación, quizás la más corta según las evaluaciones anuales de sus participantes es la de la conservación, ya que los resultados de los análisis no son vinculantes para la Administración. En cualquier caso, muy frecuentemente el hecho mismo de realizar el muestreo Andarríos se convierte en una jornada de conservación del ecosistema, ya que la toma de datos viene a veces acompañada de educación y sensibilización ambiental a la población general o escolares, limpiezas, denuncias, convocatorias a los medios de comunicación...

El compromiso y el conocimiento que la población local tiene de su entorno, contrarresta con creces las posibles deficiencias científicas de un análisis "para todos los públicos". Como alguna vez se ha comentado en las jornadas de presentación del informe anual, es sin duda muy interesante realizar un análisis químico del agua del río para detectar decenas de contaminantes, pero mucho más interesante es que exista un grupo de personas comprometidas en hacer un seguimiento a ese río a lo largo del tiempo.

Sin duda, para los gestores y gestoras que trabajan en la Administración, responsables de la conservación de la naturaleza, puede resultar de mucha utilidad tener más de doscientos equipos científicos aficionados analizando el estado de los ecosistemas acuáticos siguiendo una metodología común. Quizás algunos datos obtenidos por estas personas no lleguen a la precisión necesaria para un organismo gestor, pero su validez y su utilidad son las de unos datos vivos, que combinan el aspecto más científico con el conocimiento del entorno y el compromiso con la conservación. La posibilidad de cruzar los datos más técnicos con la información aportada por el tejido social permite obtener una visión más objetiva de la realidad.

Iniciativas como la adopción de tramos de costa para su evaluación y limpieza (Coastwatch), la catalogación de fuentes y manantiales como primer paso hacia su conservación (Conoce tus fuentes), la detección de la presencia de anfibios y reptiles (SARE), o como el mismo Andarríos, potencian la implicación de la sociedad en el desarrollo del conocimiento, y más aún en el desarrollo del conocimiento *para* la conservación.

Quizás sea interesante terminar resaltando este *para* que debe tener siempre como 'coletilla' el conocimiento, porque a veces nos entretenemos tanto con los medios que nos olvidamos del fin, de los objetivos. Haciendo referencia a un manido chiste, "conocer por conocer es conocer al cuadrado". Si conocer para conservar, para transformar, para mejorar la vida... son nuestros objetivos, la participación social puede resultar desde muy útil hasta imprescindible.

Cuando la ciencia es recluida en los laboratorios y desarrollada por especialistas, le resulta después extremadamente difícil recorrer el camino hacia el "pueblo lego" o no iniciado. Tratándose de ciencia en pos de la conservación de la naturaleza, este camino debe ser recorrido obligatoriamente, si quiere seriamente cumplirse el objetivo propuesto. Qué mejor comienzo que recorrer el camino juntos, de forma que investigación, conservación y participación sean las patas que, aportando cada una su movimiento, nos acerquen al resultado que todos y todas perseguimos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer desde aquí a todas las personas que han intervenido e intervienen de alguna forma en el programa Andarríos, desde sus promotores y responsables de la Administración, como Ricardo de Castro, Juan Gabriel Martínez, Francisco Fernández Parreño, Antonino Sanz, Manuel Saéz, Jesús Cabello o Emilio Sánchez, hasta los muchos colaboradores y colaboradoras de diferentes ámbitos que hemos tenido en estos años: Laura Galván, María José Molina, Serena Cinelli, que han sido integrantes de la Secretaría Técnica; Miguel Clavero, que nos ha resuelto dudas sobre peces y ha puesto música a nuestros videos; ACPES, el Instituto del Agua de la Universidad de Granada, y la AHE, que nos ofrecieron sus conocimientos en jornadas de formación, y un largo etcétera.

Pero sobre todo muchas gracias a todas aquellas personas de las más de doscientas entidades que participan o han participado en Andarríos, y que dedican desinteresadamente parte de su tiempo a la conservación de los ecosistemas acuáticos. Para los miembros de Ecotono que formamos la Secretearía Técnica del programa Andarríos, Antonio Sánchez, Javier Esquivias, Juan Matutano y Alfonso Rodríguez de Austria, es una verdadera fortuna poder conocer a tanta buena gente junta.

Proyectos de investigación-conservación

Detección de oportunidades de negocio vinculadas al sector ambiental en áreas rurales.

Gonzalo González Álvarez[1] y Miguel Martín Álvarez[2]

FFRF (Fundación Félix Rodríguez de la Fuente)

[1]Responsable del programa 'Emprender para Conservar'.

emprender.coordinacion@felixrodriguezdelafuente.com

[2]Responsable del programa 'Experiencias Ejemplares en el medio rural' de la FFRF y gestor de los contenidos de 'Emprender para Conservar'.

runa.experiencias@felixrodriguezdelafuente.com

RESUMEN

El abandono progresivo del medio rural en España ha supuesto, a su vez, importantes carencias en la gestión del medio natural, ya sea en zonas forestales, cursos fluviales, pastizales, riberas, regiones de montaña, etc. La Fundación Félix Rodríguez de la Fuente ha trabajado desde sus inicios en la dinamización del medio rural y en aunar intereses y objetivos entre este ámbito y el mundo de la conservación de la naturaleza. La adecuada gestión y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales mediante el impulso de actividades ambientalmente responsables, revierte en la revitalización de los territorios rurales. Bajo esta premisa, se ha realizado un estudio para detectar oportunidades de negocio vinculadas a sectores económicos sostenibles en áreas rurales pertenecientes a las comunidades autónomas de Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura.

Palabras clave: emprendimiento, emprendedores rurales, economía diversificada, despoblación rural, espacios naturales protegidos, empresa rural, desarrollo económico sostenible, experiencias ejemplares.

INTRODUCCIÓN

La Fundación Félix Rodríguez de la Fuente (FFRF) trabaja desde su creación en el fomento y la dinamización del mundo rural, poniendo en valor sus recursos endógenos, y siempre bajo la premisa de conservar su riqueza natural, cultural y paisajística. Uno de los proyectos fundamentales que ha venido desarrollando durante estos últimos años es RuNa (*Convergencia del mundo Rural con la Naturaleza*), cuyo objetivo es poner de manifiesto la importancia del ámbito rural como generador y custodio de la biodiversidad del medio natural que ocupa, fomentando, por ende, la convergencia de intereses y objetivos con el mundo de la conservación de la naturaleza. Es en este contexto donde se realiza el *"Estudio para la detección de oportunidades de negocio vinculadas al sector ambiental en las áreas rurales del espacio RuNa"*, realizado en el marco del 'Programa RuN@Forma-Emprende' cofinanciado por el Fondo Social Europeo a través del 'Programa Empleaverde' de la Fundación Biodiversidad.

Proyectos de investigación-conservación

El estudio se ha realizado en las áreas de confluencia de la Red de Espacios Naturales Protegidos (RENP) con la Red Natura 2000 (RN2000), territorios con un destacado valor ecológico. Las comunidades autónomas objeto de estudio han sido: Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura, en las provincias de Huelva, Jaén, Sevilla, Cuenca, Guadalajara, Toledo, Badajoz y Cáceres.

España posee aproximadamente un 85% de su superficie dentro de lo que llamaríamos territorio rural, sin embargo concentra menos del 20% del total de población del país en este ámbito. Por otra parte, cuenta con un 28% de su superficie amparada bajo diversas figuras legales de protección, lo que le convierte en un referente europeo en esta materia. La diversidad de ecosistemas y la riqueza biológica de la península Ibérica ciertamente sobresale entre el resto del territorio de la Unión Europea. La FFRF entiende que una de las acciones prioritarias para frenar la despoblación de las zonas rurales, e incentivar la recolonización por nuevos pobladores, es fomentar una economía multifuncional y diversificada que integre el gran potencial de oportunidades que ofrece la biodiversidad en nuestro país (Figuras 1-4).

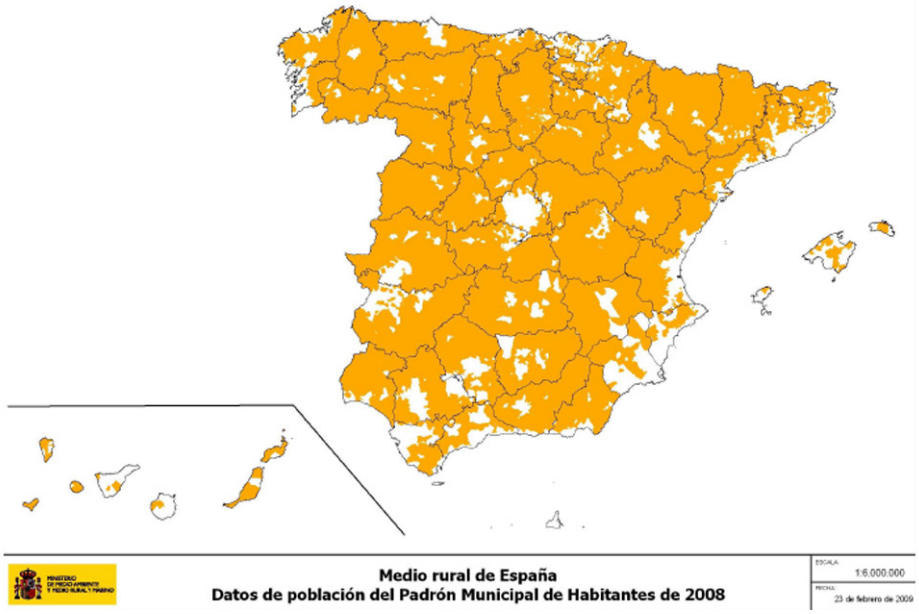


Figura 1. Distribución geográfica del medio rural en España.

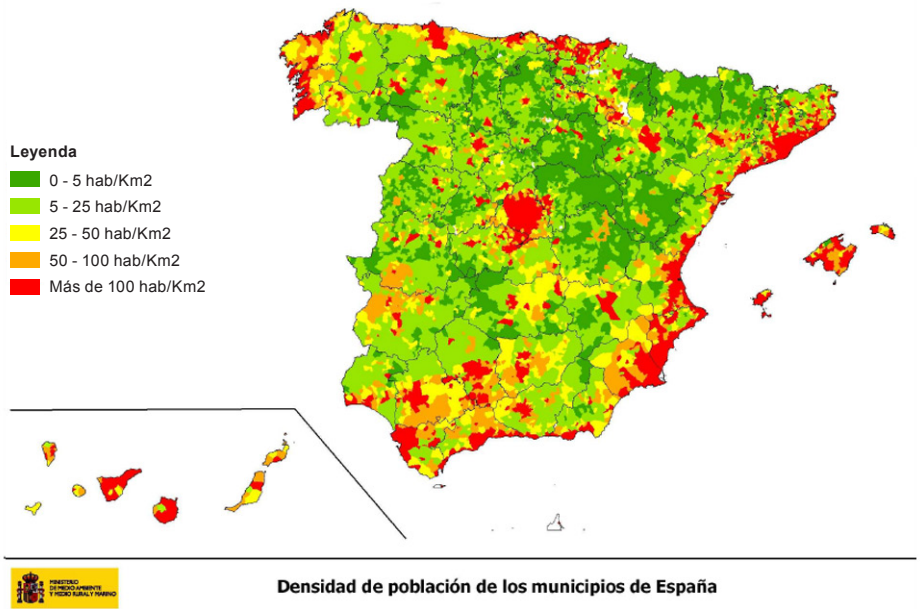


Figura 2. Densidad de población de los municipios de España.

Proyectos de investigación-conservación

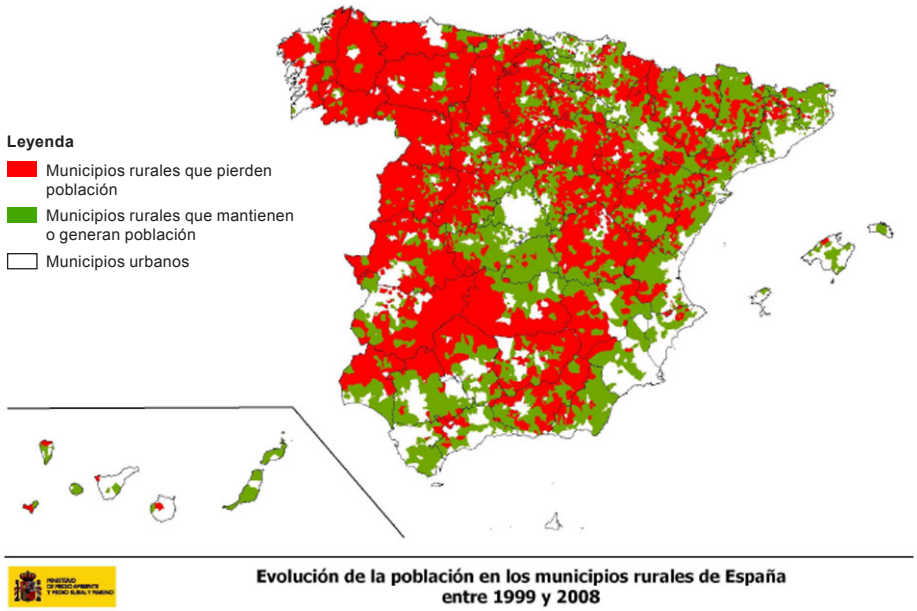


Figura 3. Evolución de la población en los municipios rurales de España.

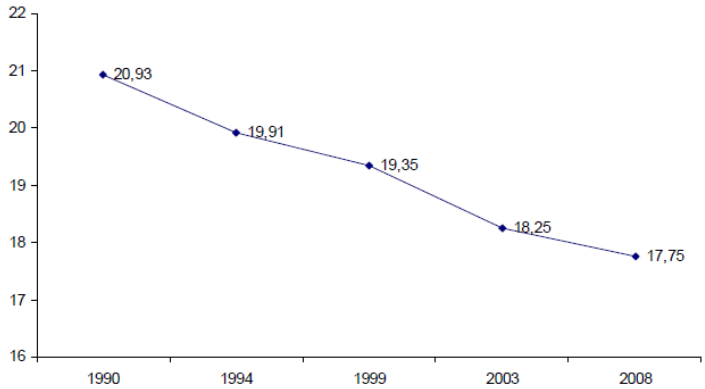


Figura 4. Evolución de la población rural respecto a la urbana.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Padrón Municipal de Habitantes 1990, 1994, 1999, 2003 y 2008, INE.

A nivel mundial, el medio rural–natural ha sufrido un progresivo abandono poblacional en las últimas seis décadas debido a las expectativas económicas generadas en los núcleos urbanos. Entre otras muchas consecuencias, el mundo rural ha perdido diversidad en especies domésticas: el 80% del alimento del planeta en la actualidad se basa en menos de dos docenas de plantas y animales. El Estado español pierde alrededor de un 5% anual de la biodiversidad genética en especies de fauna y flora destinadas a la producción agraria. Por otro lado, el abandono rural en nuestro país ha provocado una falta de supervisión, cuidado y gestión de espacios naturales que quedan al albur de innumerables impactos negativos devenidos por la falta de la necesaria custodia que de ellos produce la presencia humana permanente. Es por ello que la FFRF estima que la recuperación poblacional y la promoción de modelos de vida basados en la puesta en marcha de actividades económicas y negocios sostenibles en estas áreas conllevan la garantía de su preservación.

Las zonas rurales objeto del presente estudio han presentado una serie de características comunes que determinan las oportunidades de emprendimiento que en ellas se dan. Se trata de zonas rurales ligadas de manera tradicional al trabajo en el campo y con una localización periférica a los principales centros urbanos y focos económicos. La mecanización de la actividad agraria, el abandono de ciertas actividades tradicionales

como la minería o la artesanía y, en los últimos años, la crisis que atañe al sector primario han provocado un paulatino proceso de despoblamiento en estos municipios. Los bajos niveles de población y su gran dispersión han provocado a su vez un subdesarrollo de los servicios, tanto públicos como privados. Otros aspectos comunes de las zonas estudiadas son su orografía accidentada y, en muchos casos, las infraestructuras de comunicaciones limitadas y obsoletas. Buena parte de los municipios muestran una gran riqueza en sus entornos naturales y presentan una relativa buena conservación. Esto es debido, por una parte, a la reducción de los impactos negativos derivados de las actividades humanas no sostenibles, y por otra, a la entrada en vigor de diversas figuras normativas de protección (áreas de la RENP y la RN2000). Las figuras de protección son percibidas en muchos casos por la población local fundamentalmente por su carácter limitador de las actividades tradicionales, aunque a posteriori hayan resultado en varios casos un factor clave que ha permitido el mantenimiento de los recursos naturales locales. Una adecuada gestión y aprovechamiento futuro de estos recursos puede revertir a la larga en la revitalización de los territorios mediante el impulso de actividades en el sector del medio ambiente. Más aún si se tiene en cuenta que a esta riqueza del medio se suma la del patrimonio histórico y cultural constatado en los municipios estudiados.

ANÁLISIS Y MÉTODO DE TRABAJO

La zona de trabajo contaba en 2008 con una población total de 545.640 habitantes distribuidos en 316 municipios. En las primeras fases del estudio de campo se ha procedido a realizar un conjunto de reuniones con personal experto y agentes de los territorios. Con ellos se realizó un análisis global de la situación, estudiando las distintas perspectivas de evolución, las percepciones sobre oportunidades de negocio existentes, el tejido económico en cada zona, el perfil de las personas con inquietud emprendedora y los recursos y barreras existentes en cada zona para el emprendimiento. Toda esta información fue contrastada y catalogada bajo el epígrafe *'Diagnóstico de situación'*. Se realizaron un total de 66 reuniones presenciales, en las que participaron 119 informantes que representaron a 75 entidades diferentes. Los participantes: alcaldes, concejales, gerentes de grupos de acción local y agencias de desarrollo rural, personal técnico de desarrollo, personal técnico de empleo, gerentes y personal técnico de servicios de asesoramiento a empresas, técnicos de asociaciones de agricultura y ganadería, representantes de asociaciones de mujeres rurales, gerentes de empresas, personal técnico de cámaras de comercio y representantes de asociaciones empresariales. Destacar que ésta ha sido una de las claves del éxito del proyecto, ya que gracias a la colaboración de dichos agentes, se ha podido contar con las opiniones de personas que viven y trabajan en las zonas estudiadas, lo que representa un valor añadido muy importante, y ha permitido extraer una serie de conclusiones sobre oportunidades de negocio realistas, viables y demandadas en la actualidad por la población residente en cada una de las provincias.

Con dichas reuniones se ha concretado al máximo el trabajo de campo y se han puesto en valor las distintas zonas naturales protegidas que han formado parte del proyecto: Serranía de Cuenca, Alto Tajo, Barranco del río Dulce, Parameras de Maranchón, Hoces del río Mesa y Aragoncillo, Montes de Toledo, Sierra de San Vicente, valles del Tiétar y Alberche, La Serena y sus sierras periféricas, Puerto Peña - Los Golondrinos, Sierra de las Villuercas y valle del Guadarranque, Monfragüe y dehesas del entorno, Sierra de Aracena y Picos de Aroche, Sierra Norte de Sevilla, Sierra Morena, Sierras de Cazorla, Segura y las Villas, Sierra de Andújar, Despeñaperros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una de las características comunes que se constató en las zonas de estudio es la escasa presencia de personas con niveles de formación y cualificación elevados. Se observó una gran concentración de personas que no tienen estudios o que sólo han realizado estudios de primer grado. Hay tres factores que inciden especialmente en este hecho. En primer lugar, la gran proporción de población con edades superiores a los 65 años cuya vida en un entorno rural les imposibilitó en su momento, por diversos motivos, el acceso a los sistemas formativos. En segundo lugar, la limitación de los recursos y servicios educativos en estas zonas -que se da aún en la actualidad- que dificulta el acceso de la población joven a los estudios superiores y de especialización. En tercer lugar, la falta de un tejido económico que demande personal cualificado. Lo que provoca que aquellas personas que han alcanzado estos niveles tiendan a emigrar a los núcleos urbanos con mayor tamaño poblacional y económico donde poder desarrollar adecuadamente su vida profesional. Esta situación limita en buena medida las posibilidades de impulso a la nueva actividad empresarial por parte de la población local, dándose el caso de que la mayor parte de iniciativas innovadoras en estas comarcas o bien vienen de la mano de personas jóvenes que emigraron para estudiar y trabajar fuera y regresan con la idea de montar una empresa, o bien vienen de habitantes de zonas urbanas que tras ejercer una actividad profesional llegan con una idea de negocio previa.

En cuanto a la actividad económica, las principales fuentes de empleo y sustento de estos municipios han sido tradicionalmente la agricultura y la ganadería. Ahora bien, la globalización económica, la apertura de los mercados unida a los cambios en los sistemas de producción, distribución, comercialización y consumo han provocado una situación de competencia tal que muchas actividades asociadas al sector primario han perdido toda su rentabilidad. A ello se une el envejecimiento de los colectivos productores, que en muchos casos no encuentran relevo en las generaciones más jóvenes, por lo que muchas explotaciones son abandonadas o reconvertidas para otros usos. Se ha constatado que, salvo casos puntuales, no se ha dado de manera generalizada en estas zonas la introducción de nuevas prácticas sostenibles dentro del sector agropecuario, como las producciones de tipo ecológico, producciones con variedades locales o autóctonas, o la diversificación de cultivos y actividades ganaderas. En cambio, sí se han mantenido algunas veces monocultivos que, sin resultar en absoluto rentables, han sido subvencionados en el marco de la PAC (Política Agraria Común) de la Unión Europea, lo que ha supuesto una dependencia de estas ayudas que en la actualidad amenaza con socavar el sector debido a los recortes y finalización de los programas. Sin embargo, a la vez hay que hacer notar que diversos productos generados por las actividades agropecuarias en estas zonas generalmente suelen ser de calidad y existen diversas marcas y denominaciones de origen que los ponen en valor en los mercados (aceite, vino, queso, carne), por lo que se presentan oportunidades de negocio de revitalización en actividades ambientalmente sostenibles mediante el aprovechamiento de productos diferenciados con una adecuada comercialización ('marketing verde'). En este sentido, la FFRF se encuentra actualmente desarrollando un proyecto denominado *'EcoMarket'*, en el que se trabaja en nuevos enfoques y herramientas para la comercialización.

Por otro lado, se han constatado nuevas oportunidades de emprendimiento en los sectores de la silvicultura, viveros de planta autóctona y cultivo y recolección de setas, frutos y plantas silvestres. La idea base a seguir, en todo caso, es la de obtener producciones que compitan en los mercados por la calidad y la diferenciación, ya que la competencia por precios se hace difícil ante la presencia de países productores que trabajan con menores costes asociados. Como decíamos más arriba, se ha demostrado imprescindible la adecuada comercialización de los productos, tanto en lo concerniente a su presentación, como a los canales de venta y también a los mercados de destino. Muchas veces se ha

observado que la imagen del producto no iba en consonancia con su calidad. Para ello se deben aprovechar las innumerables posibilidades de diseño y marketing brindadas por las nuevas tecnologías, así como por las redes de venta comunitarias o las redes externas. Pese a la clara apuesta que hace la FFRF por la incentivación de la comercialización local, es imprescindible no olvidar los mercados externos (nacionales e internacionales) cuando se trata de producto autóctono, ecológico, de calidad y diferenciado. En este ámbito, además de empresas dedicadas a la explotación agropecuaria sostenible, se han visto necesarias en el medio rural otras dedicadas al diseño y elaboración de envases y etiquetas o a la comercialización y distribución especializada.

Las actividades alternativas relacionadas con el turismo son las que cuentan con mayor potencial de desarrollo en estas zonas de rico patrimonio natural y cultural, tanto en lo relacionado con el hospedaje rural y la restauración especializada, como con las actividades de educación ambiental, las de ecoagroturismo, multiaventura, itinerarios culturales, *birdwatching*, etc. En cuanto a los servicios ambientales, las oportunidades que se dan en mayor medida en todas las zonas del estudio son las relacionadas con la limpieza y mantenimiento de fincas, ríos y montes. Los nuevos requisitos para la realización de estos trabajos en áreas protegidas, junto a la especialización necesaria para ciertas tareas, abre la posibilidad de implantación de empresas que ofrezcan un servicio integral, desde la tramitación de permisos y licencias hasta la ejecución de las obras. Otro nicho de negocio aparece en el campo de la comercialización e instalación de equipos de energía solar y eólica. Pese a la crisis y los recortes, el sector permanece vivo y puede aprovechar las nuevas normativas de aplicación en materia de rehabilitación de inmuebles. Además, se abren oportunidades en la instalación de estas tecnologías en fincas y explotaciones agropecuarias, así como en núcleos urbanos de varios municipios donde el suministro energético se ha mostrado deficiente y derrochador. También en el terreno de las energías alternativas se han observado oportunidades de negocio en la recogida y tratamiento de biomasa. Debido a la acusada despoblación, se acumulan gran cantidad de residuos forestales desaprovechados en fincas privadas, montes públicos y espacios naturales.

Se ha estimado que las zonas rurales del estudio cuentan con un buen potencial de desarrollo de su actividad económica siempre y cuando la iniciativa pública y la privada vayan de la mano, creando las condiciones y los servicios concretos que permitan la fijación de la población local en estos municipios y la llegada de nueva población, más formada e innovadora, que se asiente en ellos. Este proceso ha de ser entendido de una manera global, con la creación de sinergias entre unos desarrollos y otros, que posibiliten la promoción de estos territorios y su definitiva dinamización socioeconómica. De nada sirve que cada año se generen más proyectos relacionados con emprendimiento en zonas rurales, que cada vez más personas se animen a vivir y trabajar en nuestros pueblos, si estos emprendedores después encuentran innumerables dificultades para tener acceso a alojamientos dignos donde poder instalarse o dificultades en acceder a posibles locales en los que ejercer su actividad o múltiples y farragosas trabas burocráticas para poner en marcha los nuevos negocios.

Mediante las diversas acciones de comunicación que ha desarrollado la FFRF en todo el territorio durante este tiempo se ha conseguido dar cierta visibilidad a aquellos emprendedores destacados que se han seleccionado y que se han considerado claves como experiencias ejemplares en el medio rural para el emprendedor que está comenzando. Entre las más de cincuenta iniciativas que se han estudiado en profundidad a lo largo de la vida del proyecto destacaríamos:

» Pedro Delgado, de *Aquaphytex*, que ha conseguido a través de plantas macrófitas realizar un proyecto de potabilización de agua contaminada en Puebla de Alcocer (Badajoz).

Proyectos de investigación-conservación

Foto 1. Juan Huertas.

» Juan Huertas (con la colaboración de la asociación *Vida Sana*), que tras sufrir diversas enfermedades en su ganadería decidió transformarla al sistema ecológico, cultivando el alimento de la cabaña ganadera en su finca de Calzada de Oropesa (Toledo).

» Magali Simonin, de la *Hacienda del Huerto*, que con su renovada perspectiva sobre el turismo rural ha conseguido atraer todo el año clientes extranjeros de 'cinco estrellas' a la pequeña localidad sevillana de Montellano.

» Juan Ramón Vidal, de *La Espelta y la Sal*, recuperando el cultivo de espelta en ecológico. Es el único habitante de Ures, una pequeña pedanía de Sigüenza (Guadalajara).

» Amaica García, de *Nubbitel Telecom*, que ha conseguido llevar internet a diversos pueblos y pedanías aisladas desde su central en Talavera de la Reina (Toledo).

» Rubén Valbuena, de *Granja Cantagrullas*, que ha conseguido comercializar un queso ecológico excepcional a la vez que fomenta la ganadería ovina de raza autóctona desde Ramiro, un pequeño enclave rural vallisoletano.

Para la divulgación e implantación del proyecto se han convocado una decena de ruedas de prensa anuales, se han realizado 16 seminarios sobre oportunidades de negocio con un total de 576 asistentes, se han impartido 9 cursos de formación para 180 alumnos, se contrataron 8 consultores de emprendimiento para asesorar 80 proyectos con 150 personas tutorizadas, se formó una red de colaboradores con más de un centenar de entidades y se consiguió crear durante la puesta en práctica del proyecto una veintena de empresas (pymes, micro pymes y autónomos) (Fotos 3-5).

Foto 2. Rueda de prensa.

Proyectos de investigación-conservación

Foto 3. Mesa redonda.

Foto 4. Curso.

Foto 5. Asesores.

Félix Rodríguez de la Fuente emprendió un proyecto titánico en los años 70 cuando inició el arduo trabajo de proteger de la extinción a las denominadas entonces como 'alimañas', es decir, proteger de la extinción a toda la fauna ibérica que no entraba dentro de los parámetros de fauna doméstica y cinegética. Hoy en día, en la coyuntura económica nacional, resulta realmente difícil emprender un negocio sostenible y comprometido con el medio ambiente en el medio rural. Sin embargo, la veintena de empresas creadas con el apoyo de este proyecto nos demuestra que hay alternativas basadas en el ingenio y en un nuevo espíritu de respeto por la naturaleza y el uso responsable de sus innumerables recursos.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

– ARANDA PÉREZ, F.J. (coord.), 2004. *El mundo rural en la España moderna*. Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha.

– GONSALVES, J. *et al*., 2006. *Investigación y desarrollo participativo para la agricultura y el manejo sostenible de recursos naturales. Libro de consulta, volumen I*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.

– IZQUIERDO, J., 2008. *Asturias, región agropolitana. Las relaciones campo – ciudad en la sociedad postindustrial*. KRK Ediciones.

– IZQUIERDO, J., 2012. *La casa de mi padre*. KRK Ediciones.

– SANCHO COMÍNS, J., MARTÍNEZ VEGA, J. Y MARTÍN LOU, M.A. (editores), 2002. *Necesidad de un marco jurídico para el desarrollo rural en España*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

– VV.AA., 2009. *Informe de sostenibilidad en Andalucía 2008*. Escuela de Organización Industrial.

– VV.AA., 2009. *Crisis del medio rural: procesos sustentables y participativos*. Revista de Estudios Sociales y Sociología Aplicada.

– XERCAVINS, J. *et al*., 2005. *Desarrollo sostenible*. Edicions de la Universitat Politécnica de Catalunya.

FUENTES CONSULTADAS

Los datos estadísticos utilizados en el "Estudio para la detección de oportunidades de negocio vinculadas al sector ambiental en las áreas rurales del espacio RuNa" provienen de las siguientes fuentes oficiales:

– Instituto Nacional de Estadística (INE).

– Instituto Nacional de Empleo (INEM).

– Tesorería General de la Seguridad Social (TGSS).

– Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).

– Dirección General de Tráfico.

– Instituto de Estadística de Andalucía.

– Instituto de Estadística de Castilla La Mancha.

– Instituto de Estadística de Extremadura.

– Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

– Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha.

– Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente de la Junta de Extremadura.

– Telefónica de España, S.A.

– Anuario Estadístico de La Caixa.