

Puesta a punto e implementación de un programa integrado de seguimiento ecológico a largo plazo en el Espacio Natural de Doñana

R. Díaz-Delgado ¹

(1) Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales. ICTS de la Reserva Biológica de Doñana. Estación Biológica de Doñana-CSIC. Avda. Américo Vespucio s / n. Isla de la Cartuja. E-41092 Sevilla, España

➤ Recibido el 15 de febrero de 2010, aceptado el 26 de abril de 2010.

Díaz-Delgado, R. (2010). Puesta a punto e implementación de un programa integrado de seguimiento ecológico a largo plazo en el Espacio Natural de Doñana. *Ecosistemas* 19(2):000-000.

Desde el momento en el que se consiguió la protección de Doñana, los gestores y científicos han realizado un esfuerzo conjunto para implementar un programa de adquisición periódica de información sobre las variables ecológicas más relevantes de este espacio natural en España. Los primeros pasos se centraron principalmente en la recopilación sistemática de información sobre las especies más amenazadas y la avifauna. A lo largo de las últimas décadas, otros indicadores ecológicos han sido progresivamente incorporados a esta iniciativa. Así, en 2002, se puso en marcha un programa integrado de seguimiento ecológico a largo plazo ampliando sustancialmente los objetivos de los seguimientos tradicionales. El programa ha sido exitosamente implementado merced a la creación de un equipo conformado por personal especializado encargado, además de las tareas básicas de seguimiento, de la propuesta y validación de los protocolos metodológicos empleados. Los resultados de cada seguimiento son accesibles públicamente a través de un portal web actualizado periódicamente. La información de referencia así proporcionada sobre las tendencias a largo plazo y los cambios observados es empleada en la toma de decisiones por los gestores en pos de la conservación de Doñana. Además, el programa de seguimiento promueve también la participación y contribución en los programas internacionales de investigación y seguimiento ecológico a largo plazo, incorporando la información socio-económica de importante consideración para la conservación de la biodiversidad en el marco actual de cambio global.

Palabras clave: Espacio Natural de Doñana, Investigación ecológica a largo plazo (LTER), Protocolos de seguimiento ecológico, Historias de éxito, Investigación socio-ecológica.

Díaz-Delgado, R. (2010). Set up and implementation of an integrated monitoring programme for Doñana Natural Space. *Ecosistemas* 19(2):000-000.

Since Doñana was protected, managers and scientists have jointly worked to set up a program for periodical acquisition of information on the most relevant ecological variables of this relevant natural area. First steps mainly focused on systematic collection of information about the most endangered species and overall on birds. In the last decades, other relevant ecological indicators have been gradually included under such monitoring initiative. Thus, in 2002, a long term integrated ecological monitoring programme was set up with a substantial enlargement of the monitoring features. The programme has been successfully implemented mainly due to a specialized staff team devoted to monitoring basic tasks but also to the proposal and validation of the defined methodological protocols. Data policy enables full access to monitoring results through a web portal periodically updated. Baseline information is therefore available for long term trends and observed changes on the monitored ecosystems and species populations. Such reference data sets are used for critical decision making in Doñana conservation management. Besides, the monitoring team also participates, follows and contributes to the International Long-Term Ecological Research (ILTER) network and includes socio-ecological data as crucial information to better understand Doñana main pressures and drivers on biodiversity under the global change processes.

Keywords: Doñana Natural Space, Long term ecological research (LTER), Ecological monitoring protocols, Success stories, Socio-ecological research.

Parque Nacional de Doñana: breve reseña.

Protegido en 1968, el Parque Nacional de Doñana (537 km²), en el sur de España, es Reserva de la Biosfera de la UNESCO, sitio Ramsar, Patrimonio Natural de la Humanidad y está integrado en la red Natura 2000. El mayor humedal de Europa occidental (García-Novo y Marín Cabrera, 2005) es una matriz compleja de marismas (270 km²), lagunas freáticas, un extenso sistema dunar, 25 km de costa protegida y diversas comunidades vegetales representativas de clima Mediterráneo (**Fig. 1**). Los objetivos de conservación incluyen la preservación de las poblaciones de especies en peligro crítico (el lince ibérico *Lynx pardina*, el águila imperial ibérica *Aquila adalberti*, la Cerceta pardilla *Marmorenetta angustirostris*), y la preservación de la abundancia de aves acuáticas y de sus humedales y ecosistemas terrestres mediterráneos. Doñana es sitio crítico de descanso para las aves del Paleártico en su migración a África y de invernada para las aves acuáticas invernantes.

Las marismas de Doñana tienen un clima mediterráneo típico: el ciclo hidrológico comienza en septiembre y suele alcanzar los niveles de inundación máxima durante el final del invierno boreal, determinada principalmente por el régimen de precipitaciones. A finales de primavera, la evaporación se convierte en el factor más importante en el balance hídrico y la marisma comienza a secarse lentamente hasta su desecación habitual a finales de julio. Las aguas subterráneas juegan un papel muy importante en el mantenimiento de ciertos niveles mínimos de humedad en la marisma y de las lagunas del manto eólico (Grimalt et al., 1999). Como para la mayoría de los humedales continentales, la variabilidad interanual de su inundación viene condicionada básicamente por las fluctuaciones en la precipitación.

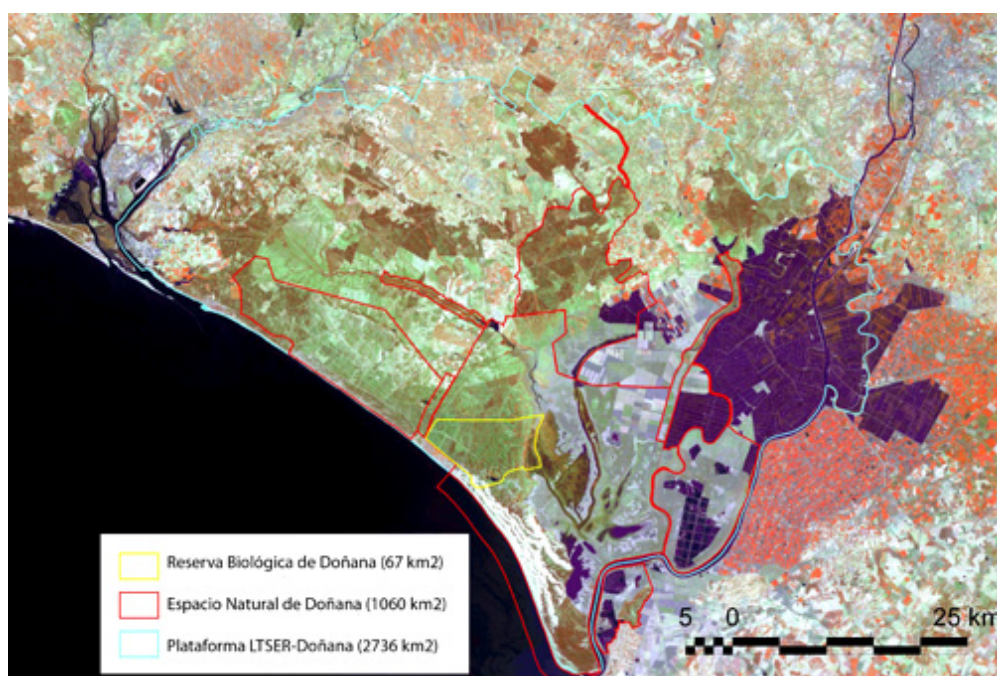


Figura 1. Límites de la Reserva Biológica de Doñana, del Espacio Natural de Doñana y de la Plataforma LTSE-Doñana.

Iniciativas históricas de seguimiento y lagunas del conocimiento en Doñana

La protección de Doñana fue promovida por José Antonio Valverde (**Fig. 2**), que tuvo que enfrentar muchos desafíos y amenazas para finalmente lograr el compromiso de la administración para declarar a Doñana Parque Nacional (PND) en 1969, la mayor figura legal de protección española. Sólo 6 años antes, J.A. Valverde, ya había conseguido preservar la Reserva Biológica de Doñana (RBD), una parcela de 6794 hectáreas dentro del Parque Nacional actual (ver **Fig. 1**), con la ayuda esencial de la World Wildlife Fund. Al mismo tiempo, se creó la Estación Biológica de Doñana (EBD), centro de investigación perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Así, desde sus inicios, Valverde, como director del PND y director de la EBD, vinculaba firmemente la conservación y la investigación científica.



Figura 2. José Antonio Valverde, primer director de la Estación Biológica de Doñana y del Parque Nacional de Doñana.

Los trabajos de investigación científica en la EBD se centraron originalmente en la biología de conservación, especialmente de especies amenazadas y la gestión del espacio protegido se benefició de ello. A lo largo de los años, la EBD se convirtió en un centro de investigación líder en tópicos de conservación biológica. Desde el principio, Valverde promovió la recopilación sistemática de información ecológica relevante para conocer el estado de conservación de Doñana, tales como el tamaño de la población de lince ibérico, la distribución y abundancia de diferentes especies de aves mediante campañas de anillamiento o el exhaustivo inventario y marcaje de alcornoques centenarios en la RBD (Solís, 1996). Distintos naturalistas trabajaron durante años en la RBD centrando sus actividades en acumular información para comprender el estado de conservación de las especies más relevantes presentes en el PND. Desde aquellos días, comenzaron a redactarse los diarios de campo como una técnica válida para registrar tanto los eventos ocasionales como el trabajo diario de campo, con observaciones efectuadas en Doñana y en ocasiones a cientos de kilómetros en campañas naturalistas. Durante esos años se iniciaron también los censos aéreos mensuales de aves acuáticas, los cuales permitían no sólo conocer la abundancia de las diferentes especies sino además la selección de hábitat y las tendencias migratorias de las aves acuáticas más abundantes de las marismas de Doñana. Estos, de hecho, fueron los intentos preliminares de establecer una actividad periódica de seguimientos como base para la investigación científica y la gestión de la fauna y la flora de Doñana.

Durante el período entre 1970 y 1990, muchas de las decisiones relevantes para la gestión del PND se basaron en la información recopilada en los diarios de campo y en los informes de los censos aéreos. Algunos trabajos de investigación publicados en revistas científicas internacionales han utilizado esos datos recogidos de forma sistemática (Almaraz y Amat, 2004a, b; Rendón et al., 2008).

A pesar del evidente interés y esfuerzo en la recopilación de información histórica, gran parte de los seguimientos se centraron mayoritariamente en recabar datos sobre la abundancia y distribución de diferentes especies de aves, su comportamiento y productividad entre otros.

Desde su constitución, el número de proyectos científicos que utilizaban como área de estudio el Parque Nacional de Doñana fue incrementándose, ampliando diferentes áreas del conocimiento tales como la ecología, la limnología, la hidrología o la etología (García-Novo y Marín Cabrera, 2005). Estos proyectos son los que han contribuido definitivamente a poner de manifiesto el interés por los valores naturales y el estado de conservación de este espacio natural. Incluso el eminente ecólogo español Ramón Margalef describió la comunidad planctónica de las lagunas freáticas de Doñana (Margalef, 1976). Como consecuencia de ello, otros grupos taxonómicos y procesos naturales comenzaron a ser reconocidos como cruciales para la conservación de Doñana.

Sin embargo, a finales del siglo pasado todavía se apreciaban importantes lagunas de conocimiento en Doñana, tanto desde las perspectivas de la investigación como del seguimiento a largo plazo. Algunos ejemplos son la fisiología vegetal, la ecología vegetal, la ecología del paisaje, la dinámica de cambios de usos, la edafología y las interacciones planta-suelo o los ciclos biogeoquímicos. Hoy en día, muchas de estas disciplinas están siendo incorporadas al programa integrado de seguimiento ecológico a largo plazo y desarrollándose a través de proyectos de investigación asociados.

El marco para un programa de seguimiento integrado en Doñana

Vaughan et al. (2001) definen como seguimiento integrado aquél que recopila información ecológica de detalle, a diferencia del seguimiento simple, la vigilancia ambiental o el control de indicadores ecológicos. Aunque muchas de las actividades de observación realizadas periódicamente en Doñana adquirieron datos de gran relevancia sobre el estado poblacional de diferentes especies y su éxito reproductivo, a finales de los años 90 existía un amplio consenso sobre la necesidad de desarrollar un programa integrado de seguimiento ecológico a largo plazo. Así, en 2001, después de varias reuniones celebradas entre representantes de la EBD, RBD y el órgano gestor del PND, se propuso un proyecto conjunto con objeto de diseñar e implementar un programa de seguimiento integrado en Doñana. Los representantes de ambas instituciones (EBD-CSIC y el Organismo Autónomo de Parques Nacionales, OAPN) firmaron un convenio en el cual se establecieron las bases para desarrollar los seguimientos necesarios que permitieran valorar las tendencias y los cambios en los principales procesos y recursos naturales de Doñana de acuerdo con las medidas de conservación. El objetivo era por tanto mejorar el conocimiento sobre la dinámica a largo plazo de los principales procesos naturales de Doñana y los efectos de las medidas de gestión en la conservación de su biodiversidad. El marco conceptual de desarrollo permitió identificar los aspectos no abordados hasta el momento, definir las necesidades, y las unidades básicas objeto de seguimiento: las especies, los hábitats y los procesos ecológicos. La aproximación a nivel de especie permitió definir a las especies amenazadas como objeto imprescindible de seguimiento a dicha escala. Los hábitats seleccionados como susceptibles y necesarios para la programación de su seguimiento se correspondieron con los más representativos (marisma, lagunas freáticas, matorral mediterráneo, etc.) y aquéllos con baja representación en términos de superficie (bosque de ribera, sabinars, enebrales costeros, etc.) en Doñana. Por último, al nivel de procesos de relevancia ecológica no sólo se incluyeron los procesos naturales que interrelacionan la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, sino también aquéllos derivados de las actuaciones antrópicas (incluidos los efectos derivados de las medidas de gestión y conservación).

El convenio, denominado 'Diseño y puesta a punto de un programa de seguimiento de procesos y recursos naturales en el Parque Nacional de Doñana', comenzó en 2002 y establecía un periodo de 3 años para la propuesta y validación de los protocolos de seguimiento ecológico a largo plazo. El programa de trabajo contempló los siguientes pasos:

1. Efectuar una revisión bibliográfica exhaustiva de los protocolos metodológicos consensuados y actualizados disponibles en la literatura científica para los objetos de seguimiento definidos en Doñana.
2. Designar un equipo supervisor científico con experiencia en los objetos de seguimiento propuestos.
3. Realizar una propuesta viable de protocolos y testar su validez e idoneidad de acuerdo con los objetivos propuestos.
4. Aprobar o rechazar definitivamente los protocolos testados y los objetos de seguimiento propuestos de acuerdo con su viabilidad y validez.

En origen, ambas instituciones acordaron una serie de procesos y recursos susceptibles de ser objetos de seguimiento (**Tablas 1, 2 y 3**). El enfoque conceptual estableció de partida tres grandes temas principales y 11 objetos de seguimiento. Además de la flora, la fauna, la gestión y los procesos geofísicos, se determinó la necesidad de realizar un seguimiento a escala de paisaje para integrar una aproximación a escala regional incluyendo la Comarca de Doñana (Díaz-Delgado et al., 2010). Se evidenciaba así la necesidad de recopilar información relevante sobre procesos a escala de paisaje, tales como la conectividad, la fragmentación o la pérdida de hábitat

Medios de seguimiento	Objeto de seguimiento	Unidad de seguimiento	Seguimientos (variables e indicadores)
Medio Físico	Clima	Meteorología	Red meteorológica
	Atmósfera	Calidad del aire	Concentración de aerosoles, partículas en suspensión y gases contaminantes
	Aguas superficiales	Dinámica de inundación	Aguas superficiales y dinámica hidráulica del sistema marismeo (*)
			Charcas temporales
		Calidad de aguas	Calidad de aguas
	Aguas subterráneas	Nivel freático	Niveles freáticos
	Geomorfología	Erosión/Sedimentación	Sedimentación en marisma/dinámica sistema dunar/línea de costa (*)

Tabla 1. Aproximación conceptual para el Programa Integrado de Seguimiento Ecológico a Largo Plazo de Doñana. Medio Físico. (Los seguimientos marcados con un asterisco se realizan a escala de paisaje).

Medios de seguimiento	Objeto de seguimiento	Unidad de seguimiento	Seguimientos (variables e indicadores)
Medio Biológico	Vegetación	Productividad primaria	Biomasa pastizal
		Cobertura y estructura	Formaciones de pinar, alcornocal, sabinar, matorral, marisma y bosque de ribera (*)
		Flora	Distribución y riqueza de la vegetación acuática
			Distribución y abundancia de especies raras y amenazadas
			Inventario de Árboles Singulares
			Distribución y abundancia de especies invasoras (*)
	Fauna	Invertebrados terrestres	Abundancia de coleópteros coprófagos
			Abundancia y distribución de hormiga argentina
			Mariposas diurnas
			Explosiones demográficas (insectos)
		Invertebrados acuáticos	Riqueza y abundancia de invertebrados acuáticos
			Abundancia y distribución de Cangrejo rojo Americano
		Peces	Abundancia y riqueza de las comunidades de peces
		Anfibios	Abundancia y riqueza de las comunidades de anfibios
		Reptiles	Distribución de tortuga mora
			Estructura poblacional de la tortuga mora
			Distribución de galápagos nativos
			Distribución de galápagos exóticos
			Abundancia y distribución de lagartijas
		Aves	Distribución y abundancia de aves vulnerables y en peligro de extinción
			Riqueza de la comunidad de passeriformes
			Cría y reproducción de aves
			Aves invernantes
		Especies clave de aves	Distribución y abundancia de perdiz y focha
		Especies clave de mamíferos	Abundancia de conejo y liebre
		Mamíferos	Abundancia de ungulados silvestres (jabalí, ciervo y gamo)
			Distribución y abundancia de rata de agua
			Abundancia relativa de carnívoros
			Distribución y abundancia de nutria

Tablas 2. Aproximación conceptual para el Programa Integrado de Seguimiento Ecológico a Largo Plazo de Doñana. Medio Biológico. (Los seguimientos marcados con un asterisco se realizan a escala de paisaje).

Medios de seguimiento	Objeto de seguimiento	Unidad de seguimiento	Seguimientos (variables e indicadores)
Gestión y Conservación	Hidrología	Gestión hídrica	Evaluación de las actuaciones de gestión del agua
			Gestión de enclaves inundables manejados
			Restauración hidrológica de la marisma Programa "Doñana 2005"
	Gestión de la vegetación	Efectos de la gestión	Eficacia de los tratamientos de vegetación
			Efectos de los aclareos de matorral
			Actividades silvícolas
			Actividades de repoblación con flora autóctona
			Erradicación de especies exóticas
	Gestión de la fauna		Respuesta de la fauna a las actividades silvícolas
			Población de lince ibérico: reproducción y mortalidad
			Población de águila imperial: reproducción y mortalidad
	Usos del suelo y recursos culturales		Actividades ganaderas
			Aprovechamiento de la piña
			Actividades Rocieras
			Tránsitos y viales interiores
			Apicultura
			Marisqueo de coquina
		Cambios de usos del suelo en el entorno de Doñana (*)	
	Actividades cinegéticas		

Tabla 3. Aproximación conceptual para el Programa Integrado de Seguimiento Ecológico a Largo Plazo de Doñana. Gestión y Conservación. (Los seguimientos marcados con un asterisco se realizan a escala de paisaje).

Finalmente, para cada objeto de seguimiento se determinaron las unidades básicas y los indicadores característicos para cada uno de ellos, correspondientes a variables ecológicas relevantes, tales como las estimas de abundancia relativa y absoluta de determinados taxones, su distribución, la riqueza de especies o parámetros cuantitativos de los diferentes procesos (temperatura, caudal, conductividad, tasa media de avance dunar, etc.).

Puesta en marcha del programa: el proceso de validación y los desafíos

La revisión bibliográfica reveló una buena cantidad de métodos disponibles para el seguimiento de los objetos de seguimiento o al menos fácilmente aplicables en Doñana con ligeras modificaciones. Las fuentes bibliográficas de referencia procedieron principalmente de la Red Ambiental de Reino Unido (<http://www.ecn.ac.uk/>), el Servicio de Parques Nacionales de Estados Unidos. (<http://www.nps.gov/>), el Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (<http://ec.gc.ca/>) y, notablemente, del manual de diseño de planes de seguimiento en espacios naturales protegidos de Europarc (Auri et al., 2005), además de guías y libros especializados, así como un número importante de artículos científicos de corte metodológico. Durante el período 2002-2005 se llevó a cabo el proceso de validación de los protocolos. A cada unidad de seguimiento se le asignó al menos un protocolo metodológico válido y se hizo constar la justificación de la necesidad de efectuar su seguimiento a largo plazo (denominado narrativa según Vaughan et al., 2001), los objetivos específicos y los indicadores de estado, la ubicación de los sitios de muestreo en el área de estudio, la unidad mínima de muestreo y la frecuencia de muestreo mínimo requerida, así como el material y personal necesario (los denominados Procedimientos de Trabajo Estándar de acuerdo con Oakley et al., 2003). El proceso de validación consistió fundamentalmente en la evaluación, mediante el empleo de los datos obtenidos con los protocolos preliminares en esa primera fase (2002-05) de la idoneidad de los indicadores, la viabilidad de los protocolos, la fiabilidad estadística de los datos y la importancia real de las unidades seleccionadas para ser objeto de seguimiento. Diversas cuestiones metodológicas se hicieron en ese momento explícitas para los seguimientos indebidamente abordados,

ya sea por el empleo de una escala espacial inadecuada, por frecuencias de muestreo inviables o de métodos de muestreo inadecuados. A menudo, los problemas de accesibilidad y logística son los más elementales a la hora de garantizar un seguimiento a largo plazo en Doñana.

Un ejemplo del proceso de validación de protocolos puede ilustrarse con el seguimiento de las formaciones de sabinar mediterráneo (*Juniperus phoenicea* ssp *turbinata*). Estas formaciones, ubicadas en la parte más alta de las dunas estabilizadas (naves en la terminología local), fueron identificadas como objeto de seguimiento con frecuencia quinquenal. Sin embargo, los datos recogidos durante los primeros 3 años evidenciaron la necesidad de una mayor frecuencia de muestreo a fin de registrar adecuadamente los efectos de perturbaciones en la dinámica demográfica de estas comunidades xéricas. De igual forma, otras propuestas de seguimiento fueron modificadas en cuanto a la frecuencia de muestreo y en otros casos con respecto al tamaño muestral. Otros seguimientos, planteados originalmente para ser abordados a escala de paisaje, tales como el seguimiento de la erosión en la orilla derecha del río Guadalquivir, tuvieron que ser rechazados en vista de la baja capacidad de la metodología propuesta para delimitar correctamente los cambios en su margen. Por último, algún protocolo, de amplio uso internacional, como el empleo de redes de captura para los macroinvertebrados acuáticos, tuvo que ser refinado de acuerdo con las características específicas de las especies locales y su comportamiento.

Después de llevar a cabo el proceso de validación, se hicieron nuevas propuestas para ampliar los seguimientos incorporando aspectos del medio no considerados en el planteamiento original. Entre ellos, el seguimiento de los cambios fenológicos (floración, fructificación, llegadas de especies migratorias) o de la fisiología de las especies arbóreas más representativas del PND, son un ejemplo del proceso continuo de mejora, integración y ampliación del programa de seguimiento. Sin embargo, las instituciones responsables del programa son conscientes de las limitaciones derivadas de la falta de personal y recursos económicos. Desde sus orígenes, el Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales (ESPN), fue constituido por personal cualificado entorno a cinco áreas de responsabilidad (escala de paisaje, que incluye la dinámica de la vegetación y geomorfológica, anfibios y reptiles, limnología, aves y mamíferos). A lo largo del proceso de implementación del programa, los responsables de área han contado con un total de 12 técnicos, la mayoría vinculados al seguimiento de la avifauna. Durante este periodo frenético de puesta en marcha del programa, se mantuvo una actividad de formación del ESPN mediante la organización de cursos específicos. Estos cursos facilitaron la participación y promovieron la motivación del personal en la puesta a punto del programa y mejoraron las habilidades básicas del personal. Cursos tales como la introducción al uso de los Sistemas de Geoposicionamiento (GPS) y al empleo de dispositivos PDA (Personal Digital Assistant) o agendas electrónicas han resultado de valiosa utilidad. Otros cursos han permitido mejorar los conocimientos del medio natural en el que trabajamos, tales como los cursos de identificación de flora de Doñana, incluyendo especies acuáticas y terrestres. Curso especializados sobre técnicas de conducción en ambientes extremos y sobre criterios de seguridad laboral han permitido mejorar la logística. Recientemente se han llevado a cabo dos cursos introductorios sobre las técnicas de representación de los datos recopilados (cartografía de localidades de muestreo y la información vinculada) y sobre la representación tabular y gráfica de resultados (tendencias, distribuciones, etc.). Por último, se está llevando a cabo una formación continuada sobre el uso de software libre Cybertracker que facilita la captura de datos en campo mediante el empleo de dispositivos móviles (más detalles en la siguiente sección).

En la actualidad, el ESPN junto con el personal ICTS (Instalación Científica-Técnica Singular) que lleva a cabo el Programa de Seguimiento Integrado en Doñana cuenta con 24 técnicos financiados por el CSIC y 4 por el Ministerio de Ciencia e Innovación (**Fig. 3**). Desde sus orígenes, con 10 técnicos, fue objetivo principal del programa aumentar el personal dedicado a este ambicioso proyecto. La RBD, junto con el ESPN, cuenta con un programa de voluntariado que permite formar a estudiantes en las técnicas de seguimiento. De esta forma, los voluntarios que se incorporan al programa ayudan en las tareas de campo previa formación específica y bajo supervisión permanente del personal de seguimiento.

Por último, desde 2007, a consecuencia de una sentencia judicial del Tribunal Constitucional en 2005 por la cual se transfieren las competencias en la gestión de los Parques Nacionales desde la administración central a los gobiernos autonómicos, la gestión del PND fue completamente transferida a la Junta de Andalucía. Bajo esta nueva situación, el Parque Natural de Doñana, un área protegida de 55300 hectáreas entorno al PND, establecido en 1989 y gestionado por la administración andaluza, fue también incorporado al Programa de Seguimiento. El conjunto de ambos espacios protegidos, el Espacio Natural de Doñana (END), se convierte en el área de aplicación del seguimiento, lo que ha implicado importantes cambios en la planificación y ejecución del programa. El cambio más relevante, la ampliación de la superficie de muestreo ha requerido una reducción en el esfuerzo de muestreo y por ende en el número de puntos de muestreo en el interior del PND. Esta circunstancia se ha convertido en el mayor desafío para el ESPN en la implementación del programa, si bien, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha asumido la financiación del programa y facilitado el proceso de transición.



Figura 3. Algunos de los integrantes del Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales de Doñana.

Adquisición automática de datos y evaluación de la calidad: la mejora del programa

Todas las vicisitudes mencionadas, surgidas en el proceso de implementación del programa de seguimiento de Doñana, permitieron identificar la necesidad de establecer procedimientos automáticos con objeto de aumentar la eficiencia de las labores de seguimiento. Bajo esta necesidad consensuada, se introdujeron en el proceso dos aspectos esenciales: la evaluación de la calidad de los datos y la generación y gestión de los metadatos. Ambos temas fueron resueltos de forma conjunta mediante dos diferentes y oportunas soluciones. Para la primera necesidad se empleó el software libre Cybertracker (<http://www.cybertracker.org/>). Este programa que se instala en dispositivos móviles (PDAs, teléfonos móviles, etc.) permite capturar en formato digital cualquier tipo de observación en campo. Originalmente fue concebido como una herramienta de ayuda para mejorar la vigilancia ambiental dada la alta eficiencia ofrecida en la recolección y la fiabilidad de los datos incorporados por un observador (LeFranc et al. 2010). Desde que ha comenzado a emplearse Cybertracker en los protocolos de seguimiento ha habido dos mejoras tangibles merced al empleo de las PDAs: por un lado evitar olvidos en la adquisición de datos, -es frecuente en el proceso de captura de datos en campo posponer la incorporación de un dato requerido para un mejor momento y a veces olvidarlo definitivamente-; y por otro lado la eliminación del proceso de transferencia de los datos de campo a formato digital mediante la sincronización entre las agendas electrónicas y la base de datos central. Sin embargo, el diseño de las secuencias de adquisición de los datos debe ser elaborado previamente a su empleo en el campo y mostrarse eficiente in situ, lo que requiere conocimientos avanzados en la creación de la base de datos de Cybertracker.

La segunda solución oportuna surgió merced al reconocimiento de la Reserva Científica de Doñana (RCD) como ICTS por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España. El Programa Ingenio 2010 de este Ministerio contempla la creación y financiación de ICTS. Las ICTS son aquellas instalaciones que siendo únicas en su género, por sus características diferenciadas tanto en su diseño y construcción como en su uso y/o aplicaciones, prestan servicios a la comunidad nacional de científicos y tecnólogos, siendo herramientas esenciales para el desarrollo de una investigación científica y tecnológica competitiva y de calidad. En la ICTS-RCD este reconocimiento revirtió fundamentalmente en la mejora de la infraestructura ya establecida mediante la implementación de una red de comunicación inalámbrica dentro del PND, como desarrollo básico para la instalación de una red de sondas, sensores y dispositivos de seguimiento automático en tiempo real recopilando información sobre las principales carencias ya identificadas en el programa de seguimiento de Doñana. Las mejoras han permitido recabar sistemáticamente información sobre nuevos parámetros ambientales incorporados al seguimiento como el contenido en humedad y la temperatura de los suelos/sustratos de Doñana, parámetros de calidad de aguas, ozono troposférico, flujo de CO₂, etc. Además este esfuerzo ha permitido la ampliación de la red de sensores existentes, como es el caso de la red de estaciones meteorológicas. La ICTS-RCD brinda también servicio a la comunidad científico-técnica prestando pleno apoyo a la integración, en la red de comunicaciones creada, de otros sensores analógicos y digitales existentes en Doñana desde hace mucho tiempo como la red de piezómetros del Instituto Geominero o la red de estaciones hidrológicas del propio PND. Además de la función de integración desempeñada por la ICTS en el Programa de Seguimiento Ecológico a largo plazo en Doñana, también ofrece la oportunidad, mediante su programa de accesos, a la comunidad científica europea e iberoamericana para solicitar proyectos de prospección en el PND. La convocatoria de estos proyectos se

abre dos veces al año, y su concesión conlleva la financiación de los gastos de viaje, manutención, vehículos necesarios, el combustible y pequeño material de laboratorio necesario para llevar a cabo la investigación además del alojamiento ofrecido en el Palacio de la RBD y en el Laboratorio de Huerta Tejada (Norte del PND). Muchos de los proyectos de investigación aprobados están estrechamente ligados al programa de seguimiento, fomentando la investigación científica sobre los efectos del cambio global en la biota de Doñana.

Curiosamente, ambas soluciones han proporcionado conjuntamente una mejora inesperada y muy útil a todo el programa de seguimiento. Esta nueva mejora consiste en el desarrollo de un protocolo inalámbrico para transferir fácilmente los datos recogidos sobre el terreno por medio de los dispositivos móviles a la base central de datos en cualquier momento del proceso de recolección de datos (LeFranc et al., 2010). Este tipo de sinergias surgidas espontáneamente constituyen la fuente de nuevas ideas para mejorar la eficiencia del programa de seguimiento.

Acceso y publicación de los datos

Una de las premisas originales del programa de seguimiento fue dar a conocer públicamente todos los datos resultantes de la aplicación de los protocolos. Sólo se aplican ciertas restricciones con fines de conservación, como puede ser la localización de los lugares de nidificación de determinadas especies. Esta premisa de acceso público se ha cumplido mediante la publicación anual de los informes de seguimiento en los que figuran las tablas de resultados de todos los protocolos. Los informes ofrecen también interpretaciones sinópticas sobre las tendencias observadas en las diferentes variables monitorizadas. De esta forma la administración del END cuenta periódicamente con la información actualizada sobre cada uno de los objetos de seguimiento. Sin embargo, resulta igual de esencial el permitir el acceso a los datos recabados a través de un portal web. Durante los 5 primeros años, el ESPN desarrolló un portal web para acceder a toda la información relevante del Programa de Seguimiento: tablas de resultados, protocolos metodológicos, informes anuales y documentos auxiliares (<http://www-rbd.ebd.csic.es/Seguimiento/seguimiento.htm>). Esta página web, todavía en línea, está siendo transferida progresivamente al portal web de la ICTS <http://icts-rbd.ebd.csic.es> en la que además de ofrecerse los resultados y protocolos de los seguimientos manuales se brindan los datos recabados por la red de seguimiento automático. El portal ICTS pretende permitir las consultas complejas de datos procedentes de ambos tipos de seguimiento (manual y automático) para obtener una visión rápida de las tendencias recientes e históricas y valorar la relación entre diferentes variables.

Historias de éxito en la utilización de los datos para la investigación y la gestión

El objetivo principal del programa de seguimiento es proporcionar información básica de calidad científica sobre las tendencias a largo plazo y los cambios en los procesos y recursos objetos de seguimiento. De esta forma, los datos históricos pueden ser utilizados como referencia para establecer criterios sólidos en la toma de decisiones para una conservación efectiva. El empleo de esta información para la toma de decisiones en la gestión resulta crítica para el ESPN y es la confirmación de la utilidad del programa y, por tanto, de su éxito en la implementación. La red de alerta temprana de algas tóxicas es una de estas historias de éxito. Propuesta como protocolo de seguimiento en 2006, permite activar una serie de decisiones de gestión cuando los indicadores sobrepasan ciertos umbrales. Los blooms de cianobacterias tóxicas se han producido históricamente en la marisma de Doñana causando la intoxicación y muerte de cientos de aves de diferentes especies. Durante los últimos dos años, los episodios tóxicos han sido gestionados con éxito permitiendo reducir drásticamente el número de aves afectadas.

Otro notable ejemplo de éxito lo constituye el seguimiento del Alcornocal de la Pajarera de la Fuente del Duque en la RBD. Esta población de alcornos centenarios es conocida como 'La Pajarera', debido al uso que hacen las aves del dosel para nidificar. Hasta 14.000 parejas de ardeidas y ciconiformes anidan en las copas de los alcornos cada año causando el progresivo decaimiento de los árboles. El protocolo de seguimiento ha puesto de manifiesto la necesidad de evitar el pastoreo exhaustivo de bellota y plántulas por los herbívoros silvestres. Con una tasa de mortalidad de 1.96 individuos por año en los últimos 43 años, 'la Pajarera' sólo ha podido reclutar 72 nuevos individuos mediante repoblaciones y ninguno por regeneración natural. La predación intensiva de bellota se produce en época de fructificación mayoritariamente por gamos (*Dama dama*), jabalíes (*Sus scrofa*) y ciervos (*Cervus elaphus*). En 2005, un grupo de científicos expertos propuso un programa de restauración a largo plazo para este singular hábitat compuesto por varias acciones a corto, medio y largo plazo. Esta restauración incluye un diseño experimental de cercados de exclusión para testar los efectos del pastoreo y posibilitar el reclutamiento de nuevos individuos de alcornos.

La plataforma LTSE-Doñana en las redes ILTER y LTER-Europa

En 2006, la EBD se unió a la Red Europea de Excelencia denominada AlterNet (A Long-Term Biodiversity, Ecosystem and Awareness Research Network). AlterNet tiene por objeto el establecimiento de una infraestructura duradera para la investigación integrada de ecosistemas, combinando los enfoques ecológico y socioeconómico, y haciendo especial énfasis en la comunicación con los actores implicados en el cumplimiento del objetivo del CDB (Convenio sobre la Diversidad

Biológica) de alcanzar una reducción significativa de la tasa actual de pérdida de biodiversidad antes de 2010. Muchos de los centros de investigación participantes están integrados en la redILTER (International Long-Term Ecological Research network) y su sección regional la red LTER-Europa. Durante el desarrollo del proyecto, la Constitución de la red LTER-Europa en 2007 llevó a proponer las primeras 9 plataformas piloto LTSER (Long-Term Socio-Ecological Research; Investigación Socio-Ecológica a Largo Plazo) de acuerdo con los criterios establecidos. La plataforma LTSER-Doñana fue propuesta como sitio adecuado para investigar los motores y presiones socioeconómicas que inciden sobre la biodiversidad de acuerdo con la aproximación DPSIR (Drivers, Pressures, States, Impacts and Responses; Bugmann y Solomon 2000; Parr et al. 2003; Gobin et al. 2004; Nikolaou et al. 2004). La plataforma LTSER-Doñana incluye el END y los municipios inmediatos, es decir, la Comarca de Doñana (véase la **Fig. 1**), con objeto de valorar los efectos derivados de los usos humanos y las presiones ejercidas sobre la biodiversidad. Así, La plataforma LTSER-Doñana está contribuyendo al desarrollo de la investigación socio-ecológica a largo plazo y la aplicación de la aproximación DPSIR (Haberl et al. 2006). Doñana, junto con otras dos plataformas LTSER europeas (Pleine-Fougères, en Bretaña y las islas de Breila en Rumanía) han elaborado un informe conjunto acerca de los inesperados efectos derivados de la aplicación de la Política Agraria Comunitaria sobre la biodiversidad local (Informe inédito). Además, la plataforma LTSER-Doñana ha colaborado con éxito en la propuesta de un modelo conceptual socio-ecológico para este tipo de espacios LTSER (Haberl et al. 2009) que está siendo implementado y validado de acuerdo con observaciones empíricas. Ambos ejercicios están facilitando la difusión de los conceptos de investigación socio-ecológica a largo plazo. Desde entonces, la EBD ha desempeñado un papel importante en el proceso de desarrollo de la investigación y seguimiento ecológico a largo plazo en España. Después de una gran labor, la candidatura de la red LTER-España fue aceptada formalmente como miembro de la red internacionalILTER y de su sección regional LTER-Europa el 22 de agosto de 2008. La red LTER-España (ver **Cuadro 1**) está compuesta por 10 sitios, 4 de ellos en Parques Nacionales - Doñana, Sierra Nevada, Aigüestortes e Illas Atlánticas -donde existen programas de investigación ecológica bien establecidos-; además del Parque de Collserola (en el área metropolitana de Barcelona), el Parque Natural Baixa Limia-Xurés (en Orense, limítrofe con Portugal) y 4 sitios adicionales que conforman la Red de Observatorios Ambientales de Galicia (ROAGA). Recientemente ha solicitado su incorporación el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Estos sitios representan ampliamente los principales ecosistemas presentes en la Península Ibérica. La red española ha consensuado los parámetros ecológicos mínimos comunes que serán monitorizados en cada uno de los sitios de la red. Los indicadores propuestos permiten cuantificar sistemáticamente diferentes variables abióticas, y las condiciones de los productores primarios y los consumidores. En la actualidad, las mediciones meteorológicas en continuo son las de mayor implementación en cada sitio de la red, seguidas de cerca por la recopilación sistemática de información silvícola y los datos recopilados sobre aves, invertebrados, las características del suelo, la deposición atmosférica, la fenología y la calidad de aguas en los humedales.

La red española de investigación y seguimiento ecológico a largo plazo LTER-España

La red internacional de investigaciones ecológicas a largo plazo (ILTER) se estableció en 1993 con la misión de comprender el funcionamiento de los ecosistemas globales y aportar soluciones a los problemas ambientales actuales y futuros. Es una red de redes que agrupa a más de 30 países que tienen establecidas redes nacionales LTER (del inglés, Long-Term Ecological Research). En su reunión anual del año 2008 se aprobó la candidatura de España para su ingreso, hasta ahora ausente de esta iniciativa internacional de gran relevancia para afrontar los retos del Cambio Global.

La red española de investigación y seguimiento ecológico a largo plazo (LTER-España, <http://www.lter-spain.net>) se compone de un total de 10 sitios: 4 de ellos en Parques Nacionales: Doñana, Sierra Nevada, Aigüestortes e Islas Atlánticas -donde existen programas de investigación ecológica establecidos- además del Parque de Collserola (en el área metropolitana de Barcelona), el Parque Natural Baixa Limia-Xurés (ubicado en Orense y limítrofe con Portugal) y 4 sitios adicionales que conforman la Red de Observatorios Ambientales de Galicia (ROAGA). En la actualidad se encuentra en trámite de aceptación la candidatura del Parque Nacional de Monte Perdido y Ordesa representado por el Gobierno de Aragón y el Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC).

Entre los objetivos de la red LTER-España están el estudio coordinado de los efectos del Cambio Global sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas; la modelización y predicción de cambios en los sistemas socio-ecológicos; la definición de los criterios de gestión adaptativa de los socio-ecosistemas; y la formación de investigadores con una visión a largo plazo. La conexión de la red española LTER, con la red europea y, a escala global, con la red internacional ILTER redundará en beneficio mutuo:

España es un centro regional de biodiversidad, con una situación geográfica de transición y con peculiaridades socioeconómicas que la convierten en pieza esencial para un sistema de alerta temprana ante el Cambio Global; al mismo tiempo los científicos españoles (tanto del CSIC como de otros organismos) tendrán acceso a bases de datos internacionales, compartirán herramientas para la gestión y almacenamiento de información ambiental, y participarán en iniciativas a gran-escala de estudios ecológicos del Cambio Global.

La Red de Investigación Ecológica a Largo Plazo es una iniciativa de colaboración entre científicos, gestores e instituciones para promover la investigación en los procesos ecológicos a gran escala tanto espacial como temporal. La Red promueve la investigación comparada y de síntesis entre sitios y ecosistemas y entre otros programas de investigación nacionales e internacionales relacionados, con especial hincapié en el cambio global. Así, para cada nodo o sitio componente de la red existe un grupo académico vinculado que lleva a cabo las labores de investigación y un equipo gestor que plantea las necesidades básicas para la gestión adaptativa.

Como institución científica aglutinadora, el CSIC ha sido fundamental en el establecimiento y coordinación de esta red española LTER. Por una parte, el CSIC es un nodo de la red de instituciones científicas europeas participante en la red de excelencia europea ALTERNet (<http://www.alter-net.info/>) en la que se intentan armonizar protocolos y coordinar el seguimiento ecológico a largo plazo en Europa a través de la red europea LTER-Europa (<http://www.lter-europe.net/>). Por otra parte, la tradición y excelencia de las investigaciones ecológicas del CSIC en Doñana a través de su Estación Biológica han servido como núcleo aglutinador para poner en marcha esta red española. Además de 5 centros del CSIC implicados participan otras instituciones académicas como la Universidad de Granada y el CEAMA (Centro Andaluz de Medio Ambiente), el CREA (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) y la Universidad de Vigo con apoyo de la Asociación Española de Ecología Terrestre y GLOBIMED (red temática para el estudio del cambio global y la biodiversidad en ecosistemas mediterráneos). Además de la participación de instituciones académicas, LTER-España cuenta con el soporte y concurso de el OAPN (Organismo Autónomo de Parques Nacionales) y las diferentes consejerías de los gobiernos autonómicos participantes.

Ricardo Díaz-Delgado
Coordinador Nacional de la red LTER-España



Cuadro 1.

Agradecimientos

El autor y el ESPN desean agradecer sinceramente al OAPN y al CSIC la financiación del convenio para iniciar el programa de seguimiento en Doñana. También, queremos expresar nuestro agradecimiento al constante apoyo de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, comprometida plenamente con las actividades de seguimiento ecológico a largo plazo en Doñana. La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir apoyó económicamente el programa de seguimiento a través del Proyecto de restauración "Doñana 2005". El Ministerio de Ciencia e Innovación también contribuye al programa mediante el fomento de la ICTS-RCD. Agradecemos muy especialmente la asistencia permanente en el trabajo de campo y el

intercambio de datos del equipo gestor y el personal del PND, hoy END. El ESPN quiere también agradecer la participación y ayuda de muchos voluntarios en las tareas de seguimiento diario, a veces en duras condiciones. Agradecemos al Centro Internacional de Estudios y Convenciones Ecológicas y Medioambientales (CIECEM) su colaboración en el desarrollo de las labores de seguimiento.

Referencias

- Almaraz P., Amat J.A. 2004a. Complex structural effects of two hemispheric climatic oscillators on the regional spatio-temporal expansion of a threatened bird. *Ecology Letters* 7:547-556.
- Almaraz P., Amat J.A. 2004b. Multi-annual spatial and numeric dynamics of the white-headed duck *Oxyura leucocephala* in southern Europe: seasonality, density dependence and climatic variability. *Journal of Animal Ecology* 73:1013-1023.
- Atauri, J.A., Múgica, M., de Lucio, J.V., Castell, C. 2005. *Diseño de planes de seguimiento en espacios naturales protegidos*. Serie Manuales Europarc-España Nº 2, pp. 175. Fundación Fernando González Bernáldez. Barcelona. España.
- Bugmann H.K.M., Solomon A.M. 2000. Explaining forest composition and biomass across multiple biogeographical regions. *Ecological Applications* 10:95-114.
- Díaz-Delgado, R. Aragonés, D., Amezttoy, I., Bustamante, J. 2010. Monitoring marsh dynamics through remote sensing. En: Hurford, C., Schneider, M., Cowx, I. (eds.), *Conservation monitoring in freshwater habitats: A practical guide and case studies*. pp. 325-337, Springer, Dordrecht, Holanda.
- García Novo, F., Marín Cabrera, C. 2005. *Doñana: Agua y Biosfera*. Pp. 354. Ministerio de Medio Ambiente, Sevilla, España.
- Grimalt, J.O., Ferrer, M., Macpherson, E. 1999. The mine tailing accident in Aznalcollar. *Science of the Total Environment* 242:3-11.
- Gobin A., Jones R., Kirkby M., Campling P., Govers G., Kosmas C., Gentile A.R. 2004. Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water. *Environmental Science and Policy* 7:25-38.
- Haberl H., Winiwarter V., Andersson K., Ayres R.U., Boone C., Castillo A., Cunfer G., Fischer-Kowalski M., Freudenburg W.R., Furman E., Kaufmann R., Krausmann F., Langthaler E., Lotze-Campen H., Mirtl M., Redman C.L., Reenberg A., Wardell A., Warr B., Zechmeister H. 2006. From LTER to LTSE: Conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecology and Society* 11(2): article 13.
- Haberl H., Gaube V., Díaz-Delgado R., Krauze K., Neuner A., Peterseil J., Plutzare C., Singh S.J., Vadineanu A. 2009. Towards an integrated model of socioeconomic biodiversity drivers, pressures and impacts. A feasibility study based on three European long-term socio-ecological research platforms. *Ecological Economics* 68:1797-1812.
- LeFranc, H., Núñez, R., Steventon, J. 2010. New technologies in the long-term monitoring of biodiversity: Data quality and real time availability. En: Hurford, C., Schneider, M. y Cowx, I. (eds.) *Conservation monitoring in freshwater habitats: A practical guide and case studies*, pp. 387-397. Springer, Dordrecht, Holanda.
- Margalef, R. 1976. Algas de agua dulce de Doñana. *Oecologia Aquatica* 2:79-91.
- Nikolaou K., Basbas S., Taxiltaris C. 2004. Assessment of air pollution indicators in an urban area using the DPSIR model. *Fresenius Environmental Bulletin* 13:820-830.
- Oakley K.L., Thomas, L.P., Fancy S.G. 2003. Guidelines for long-term monitoring Protocols. *Wildlife Society Bulletin* 31:1000-1003.
- Parr T.W., Sier A.R.J., Battarbee R.W., Mackay A., Burgess J. 2003. Detecting environmental change: science and society - perspectives on long-term research and monitoring in the 21st century. *Science of the Total Environment* 310:1-8.
- Rendon M.A., Green A.J., Aquilera E., Almaraz P. 2008. Status, distribution and long-term changes in the waterbird community wintering in Donana, south-west Spain. *Biological Conservation* 141:1371-1388.

Solís, J.C. 1996. *Plan de ordenación del alcornocal de Doñana*. Informe inédito, pp 80, Estación Biológica de Doñana, Sevilla, España.

Vaughan, H., Brydges, T., Fenech, A., Lumb, A. 2001. Monitoring long-term ecological changes through the Ecological Monitoring and Assessment Network: Science-based and policy relevant. *Environmental Monitoring and Assessment* 67:3-28.