

Díaz-Delgado, R., Pesquer, L., Prat, E., Bustamante, J., Masó, J. y Pons, X. (2010): Generación automática de cartografía de seguimiento del Parque Nacional de Doñana. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.236-1.250. ISBN: 978-84-472-1294-1

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE CARTOGRAFÍA DE SEGUIMIENTO DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA

Ricardo Díaz-Delgado^{1,2}, Lluís Pesquer³ Ester Prat³, Javier Bustamante¹, Joan Masó³ y Xavier Pons^{3,4}

(1) Laboratorio de SIG y Teledetección. Estación Biológica de Doñana-CSIC. Avda. Américo Vespucio s/n. Sevilla. 41092. rdiaz@ebd.csic.es.

(2) Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales. ICTS de la Reserva Biológica de Doñana. Estación Biológica de Doñana-CSIC. Avda. Américo Vespucio s/n. Sevilla. 41092.

(3) Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Edificio C, Universidad. Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona). l.pesquer@creaf.uab.es.

(4) Departamento de Geografía. Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) xavier.pons@uab.es.

RESUMEN

El Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales del Parque Nacional de Doñana adquiere sistemáticamente, a través de protocolos metodológicos estandarizados, información sobre más de 100 indicadores de diferentes procesos ecológicos y el estado de multitud de especies de flora y fauna. Esta información está disponible a través de la página web en forma de datos tabulares y gráficos de tendencias. La interpretación de dicha información requiere un análisis detallado con el objetivo de ofrecer valores de referencia para la toma de decisiones en la gestión de este espacio natural. El propósito de este trabajo es contribuir a la mejora de la difusión pública de la abundante información recogida por dicho programa de seguimiento, aumentando su accesibilidad y calidad. Para ello, la metodología desarrollada implementa métodos de interpolación espacial y cartografía predictiva de parámetros ecológicos, a partir de los datos tabulares georeferenciados de distribución, abundancia, estructura poblacional y densidades de diferentes especies terrestres y acuáticas, así como de determinados parámetros biofísicos y sus correspondientes metodologías de validación, para la generación de mapas continuos de distribución y abundancia de especies del Parque. La metodología incluye la automatización del proceso completo hasta su publicación final como mapas en un servidor de cartografía en Internet siguiendo estándares del Open Geospatial Consortium, el cual dispone también de un servicio de invocación de procesos remotos WPS (Web Processing Service), para la posterior generación de nueva cartografía por parte de los usuarios.

Palabras Clave: Automatización, Cartografía de flora y fauna, Interpolación, WPS, Doñana.

ABSTRACT

The Doñana Monitoring Team is acquiring systematically, through standardized methodological protocols, information on more than 100 indicators from different ecological processes and the status of many species of flora and fauna. This information is available through the website in the form of tabular data and trend charts. The interpretation of such information requires detailed analysis in order to provide benchmarks for decision making in the management of this natural area. The purpose of this paper is to contribute to improve public access of the vast information gathered by the monitoring program, increasing its accessibility and quality. For this, the methodology implements spatial interpolation methods and predictive mapping of ecological parameters stored as geo-referenced tabular data. Such information on distribution, abundance, population structure and densities of different terrestrial and aquatic species, biophysical parameters as well as their corresponding validation methodologies is used for the

generation of continuous maps of distribution and abundance of species in the park. The methodology includes the automation of the entire process to the final publication as maps in a web map server on the Internet using Open Geospatial Consortium standards, which also offers a service for invoking remote processes WPS (Web Processing Service), for subsequent generation of new mapping by users.

Key Words: Automation, Flora and Fauna mapping, Interpolation, WPS, Doñana.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2002, el Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales (ESPN) de la Estación Biológica de Doñana (EBD) ha puesto en marcha el Programa de Seguimiento Ecológico a Largo Plazo del Parque Nacional de Doñana mediante el que se adquiere, sistemáticamente a través de protocolos metodológicos, información útil sobre más de 100 indicadores de diferentes procesos ecológicos y el estado de multitud de especies de flora y fauna tanto catalogadas como características de Doñana (Bravo, 2010; Díaz-Delgado, 2010). La implementación de este exitoso programa ha ido asociada al desarrollo de procedimientos semiautomáticos de adquisición, transferencia y almacenamiento de la información en bases de datos consultables. Los protocolos metodológicos no sólo proporcionan las guías de procedimiento para obtener la información en campo si no que además permiten aplicar un primer filtro de calidad a los datos a través de su herramienta de adquisición basada en agendas electrónicas (PDA o smartphone).

La EBD, a través del Equipo de Seguimiento de Procesos y recursos Naturales (ESPN) en el Espacio Natural de Doñana, recoge así de manera sistemática datos georeferenciados sobre distribución, abundancia, estructura poblacional y densidades de diferentes especies terrestres y acuáticas (hasta 400 ssp) existentes en este espacio protegido, además de otros parámetros biofísicos, disponiendo por tanto de unas bases de datos con extensas series temporales en formato tabular con la referencia espacial de los puntos, parcelas y transectos de muestreo.

La extensa toma de datos realizada al aplicar los 87 protocolos de seguimiento requiere de una metodología fiable, segura, asequible, fácil de manejar y que permita de la forma más rápida el almacenamiento digital y la transferencia de los datos a la base de datos general de seguimiento ecológico a largo plazo. Ante este reto, desde el año 2005, el ESPN ha adoptado para los seguimientos no automatizados el empleo generalizado de agendas electrónicas (PDA o smartphone) dotadas con GPS como la herramienta tecnológica capaz de cumplir con los requisitos exigidos. Estas agendas incorporan un software libre denominado Cybertracker (<http://www.cybertracker.co.za/>) que permite la toma y almacenamiento de datos por secuencias y empleando iconos que permiten reducir el texto y hacen más intuitiva la labor de adquisición de datos. Este software reduce de forma importante los errores en la toma de datos, resultando un primer filtro de calidad al requerir estrictamente formatos de campo o iconos inequívocos mediante una secuencia de menús estructurados. En paralelo se almacena sistemáticamente el recorrido del operario y la localización de los puntos de muestreo, y la propia configuración de las agendas junto con la red de acceso inalámbrico permite el envío inmediato de la información recabada (Figura 1).

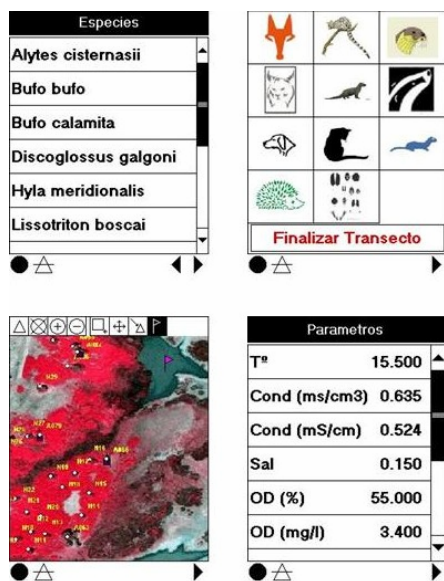


Figura 1. Aspecto de 4 pantallas de una secuencia de Cybertracker para diferentes protocolos de seguimiento (de izquierda a derecha y de arriba abajo: anfibios, mamíferos, alcornocal de la Pajarera y limnología).

Esta información pasa inmediatamente a estar disponible para los usuarios finales, a través del portal de seguimiento habilitado: <http://icts.ebd.csic.es>. El formato de los datos que puede ser consultado es tabular, y en algunos casos gráfico. Este tipo de información es de utilidad para usuarios con interés en los datos puramente numéricos, ya sean investigadores o gestores, pero para otros colectivos de usuarios como planificadores o público en general resulta mucho más intuitiva una representación visual de la información. No sólo estamos hablando aquí de mostrar la misma información tabular como elementos individualizados sobre el territorio (puntos, parcelas, transectos, etc.) sino de la generación de mapas continuos de la distribución espacial de parámetros obtenidos de los mismos datos numéricos de las tablas por los más precisos procedimientos de interpolación. En este caso, la consulta resulta más amena y rápida, a la vez que más comprensible al mostrar las ubicaciones y distribuciones dentro del territorio del Parque

El objeto del proyecto es hacer disponible la consulta de mapas interpolados, obtenidos a partir del desarrollo e implantación de los métodos de interpolación que resultan más adecuados y precisos para la generación rápida y automática de mapas de distribución y abundancia de la especie representada, e inmediatamente son incorporados al navegador web para su consulta a través del portal del Servidor de Cartografía Digital de Seguimiento del Parque Nacional de Doñana (<http://mercurio.ebd.csic.es/seguimiento/>). Este proceso facilita y agiliza la disponibilidad de los datos recogidos en todo el Parque para el público interesado, ya sean gestores del Parque, investigadores, etc. que pueden disponer, no sólo de los datos brutos recogidos en campo, sino de información elaborada y de fácil consulta y comprensión en poco tiempo.

En el marco del proyecto se han seleccionado las especies y lugares de muestreo más representativos para con ellas determinar la metodología más apropiada y los mecanismos de automatización que garanticen, una vez efectuada su validación, una posterior implantación a nivel de todos los datos y especies muestreadas y actualmente disponibles en el Parque, así como su exportación a otros parques o estaciones de seguimiento de flora y fauna. Se trata, pues, de una prueba piloto, a nivel de algunas especies y variables, de la metodología a desarrollar y a aplicar posteriormente de manera más extensa.

La cartografía generada tiene, además, el valor añadido de poder combinarse con cartografía actualmente disponible o futura de variables topoclimáticas, de vegetación o de hábitats del Parque, para extraer información valiosa a nivel de comportamiento y preferencias de las especies. Los mapas de distribución y abundancia de las especies pueden ser cruzados fácilmente mediante herramientas SIG con información sobre el entorno para sacar conclusiones sobre las variables explicativas de estas distribuciones. Asimismo, el estudio en profundidad de las diferentes especies permitirá generar mapas mejor aproximados de biodiversidad del Parque. Todo ello contribuirá a aumentar la cantidad y, sobre todo, la calidad de la información disponible sobre el Parque y su biodiversidad,

facilitando la comprensión y el conocimiento del medio natural de una de las zonas de mayor valor ecológico de España y que, en último extremo, puede ayudar a la toma de decisiones sobre la gestión y conservación del propio parque.

El uso de protocolos OGC estandarizados (como los servidores de mapas WMS) y metadatos ISO permite la integración de este conjunto de datos en las emergentes Infraestructuras de Datos Espaciales, tanto a nivel regional (IDEA) como a nivel nacional (IDEE). Esta integración garantiza la difusión de los mapas al resto de la comunidad de usuarios de la infraestructura y la garantía de combinación e interoperabilidad con el resto de datos disponibles, facilitando también el cumplimiento de la directiva INSPIRE para la creación de la Infraestructuras de Datos Espaciales de Europa, que en su anexo III recoge la necesidad de generación mapas de "distribución geográfica de las especies animales y vegetales"

El principal objetivo del presente trabajo es probar y poner a punto una metodología de interpolación espacial rápida y robusta, a partir de los datos georeferenciados de seguimiento, para generar automáticamente cartografías de distribución y abundancia de especies, y de otros parámetros biofísicos que puedan ser relacionados con otras variables espaciales (climáticas, tipo de vegetación, elevación, etc). De esta forma se habilita no sólo la visualización rápida de la distribución y abundancia de las especies objeto de seguimiento, sino que además se permite contrastar las relaciones existentes entre tales especies y las condiciones del medio en el que habitan. Además permite testar la calidad de los datos en cuanto a su coherencia espacial. El objetivo subsiguiente consiste en integrar los mapas de abundancia o presencia de especies así generados en el Servidor de Cartografía Digital de Seguimiento del Parque Nacional de Doñana (<http://mercurio.ebd.csic.es/seguimiento/>), donde se recoge toda la cartografía digital de seguimiento originada por el ESPN, cumpliendo con los estándares internacionales del OGC y la ISO, y sirviendo de plataforma de difusión pública. Por último, como objetivo adicional se propone adaptar el nuevo portal de seguimiento de Doñana para vincular los datos alfanuméricos con la visualización de las cartografías digitales generadas y publicadas en el Servidor de Cartografía Digital de Seguimiento del Parque Nacional de Doñana. Cualquier usuario podrá visualizar gráficos de tendencias junto con tablas de datos y podrá vincular rápidamente a la capa interpolada sobre la que se efectúa la consulta a través del Servidor Web de Mapas.

METODOLOGÍA

En este apartado se describen el conjunto de métodos aplicados a las distintas variables con el doble objetivo de generar una representación continua como alternativa a los datos originales tabulares y un ensayo de modelo espacial predictivo. En el marco del proyecto sobre el que se ha realizado el estudio es fundamental la automatización de toda la cadena de procesos, desde la descarga de datos hasta la publicación final de los mapas en un entorno web. Es por ello que el automatismo de los procesos constituye el núcleo esencial del proyecto, centrándose éste en menor medida en la evaluación de la calidad de las distintas metodologías de interpolación y representación, aunque las representaciones espaciales han intentado mejorarse mediante modelos predictivos y siempre se efectúan cálculos de validación, escogiéndose la representación espacial con menor error calculado. En este sentido, se ha ensayado con una selección reducida, pero representativa, de variables y de posibles técnicas y se han elaborado propuestas automatizadas para la toma de decisiones.

El proceso general se puede estructurar en tres partes:

- La descarga, depuración y agrupación de datos.
- La generación de los mapas continuos y/o modelos predictivos.
- La publicación y distribución de resultados en un entorno web.

Las distintas partes del proceso tienen elementos comunes y diferenciados según la tipología de variables procesadas. Estas tipologías son:

- Variables meteorológicas.
- Abundancia de fauna acuática.
- Presencia/ausencia de vegetación acuática.

Temporalmente, todos los datos corresponden a ciclos hidrológicos anuales (del 1 de septiembre a 31 de agosto) y geográficamente, el ámbito de estudio comprende la zona de marismas y la zona de lagunas del Parque Nacional de Doñana (Figura 2). El sistema de referencia horizontal de trabajo de todas las capas cartográficas usado

ha sido UTM con huso 29N y datum ED50. El software de trabajo ha sido el SIG MiraMon (Pons, 2000), sobre el que se ha desarrollado alguna solución específica a medida en el contexto del proyecto.

Dadas las características espaciales de la zona de estudio y el número y distribución de las estaciones se ha considerado, siguiendo los criterios de Hengl (2006) que la resolución espacial de los mapas generados sea de 150 m.

Descarga, depuración y agrupación de datos

a) Variables meteorológicas

Para la interpolación de datos meteorológicos se han utilizado dos tipos de fuentes distintas, lo cual ha permitido disponer de más datos que utilizando solamente los recogidos por las estaciones automáticas del propio Parque y, de esta manera, generar mapas interpolados de mayor calidad y precisión:

- Estaciones meteorológicas automáticas de la ICTS: <http://icts.ebd.csic.es/IniciarAction.do>
- Estaciones agro-meteorológicas del IFAPA: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController>

Para la descarga de datos desde las estaciones automáticas del ICTS se accede al servlet (Java Servlet Technology) [GeneradorDatosXMLGeneralServlet](#), obteniendo variables como dirección del viento, granizo, humedad relativa, precipitación, presión y temperatura del aire, tensión de vapor, velocidad del viento, evaporación, etc. identificadas por equipo y estación, con una frecuencia cada 10 minutos y correspondientes al intervalo entre dos fechas (periodo máximo una semana). La Figura 3 muestra un ejemplo de extracción de datos como respuesta en formato XML (Gutiérrez 2003).

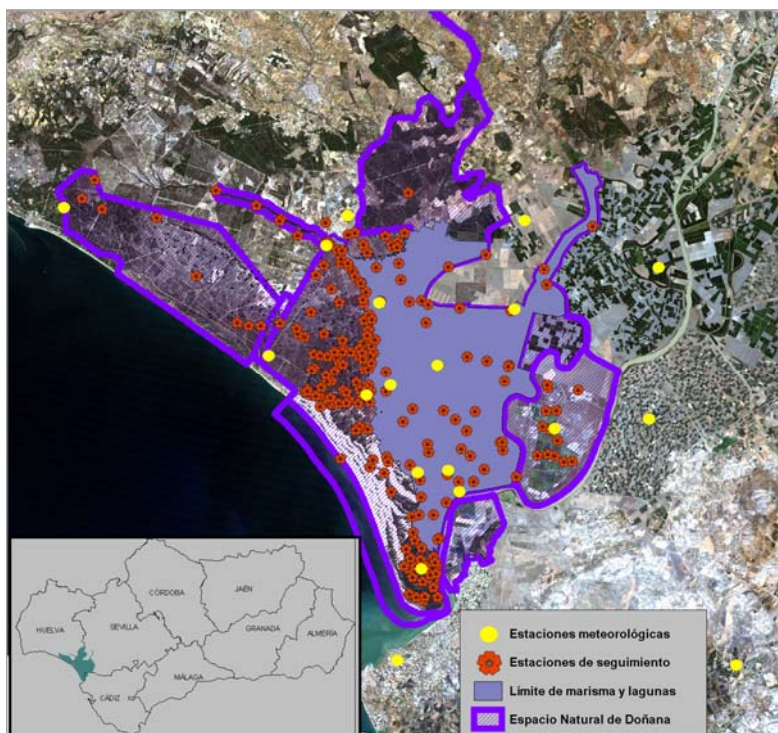


Figura 2. Mapa de situación de la zona de estudio y localización de las estaciones de muestreo.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
- <equipos>
- <equipo id="3" nombre="CONTROL RM1" fechaUltimaObservacion="9/07/10 11:00" fechaInicioTrabajo="27/11/07 0:00" umtx="183688.26" umty="4103348.74" estado="0"
  <tipoEquipo id="31" nombre="Estación Meteorológica" frecuencia="10" numVars="21" modelo="VAISALA WTX 510" />
- <observaciones numero="9093">
  <observacion id="31076415" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Dirección del viento máxima" valor="305.0" calidad="Correcto" unidades="grados" />
  <observacion id="31076414" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Dirección del viento media" valor="263.6" calidad="Correcto" unidades="grados" />
  <observacion id="31076413" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Dirección del viento mínima" valor="244.0" calidad="Correcto" unidades="grados" />
  <observacion id="31076428" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Granizo - Acumulado" valor="0.0" calidad="Correcto" unidades="ipcm2" />
  <observacion id="31076429" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Granizo - Duración" valor="0.0" calidad="Correcto" unidades="s" />
  <observacion id="31076430" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Granizo - Intensidad" valor="0.0" calidad="Correcto" unidades="ipcm2h" />
  <observacion id="31076431" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Granizo - Intensidad de Pico" valor="0.0" calidad="Correcto" unidades="ipcm2h" />
  <observacion id="31076422" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Humedad relativa" valor="62.52" calidad="Correcto" unidades="%" />
  <observacion id="31076424" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Precipitación" valor="0.04" calidad="Correcto" unidades="mm" />
  <observacion id="31076425" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Precipitación - Duración" valor="120.0" calidad="Correcto" unidades="s" />
  <observacion id="31076426" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Precipitación - Intensidad" valor="0.23" calidad="Correcto" unidades="mmph" />
  <observacion id="31076427" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Precipitación - Intensidad de Pico" valor="1.8" calidad="Correcto" unidades="mmph" />
  <observacion id="31076423" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Presión" valor="1010.0" calidad="Correcto" unidades="mBar" />
  <observacion id="31076419" fecha="1/01/10 3:00" nombrevariable="Temperatura del aire" valor="13.56" calidad="Correcto" unidades="°C" />
```

Figura 3. Ejemplo de descarga ICTS:

<http://icts.reserva.ebd.csic.es/GeneradorDatosXMLGeneralServlet?idEstacion=3&fechaInicio=010120100300&fechaFin=040120100300>

Los datos que suministran las estaciones agro-meteorológicas del IFAPA son accesibles también por *servlet*, pero en cambio su respuesta no sigue un formato estandarizado como el XML anterior, sino un formato propio de texto que posteriormente debe interpretarse de forma adecuada. En cambio, las extracciones de este *servlet* pueden ser mucho más masivas, sin las restricciones temporales del *servlet* ICTS.

Las estaciones del IFAPA cubren toda la región de Andalucía; naturalmente se han seleccionado para este estudio únicamente las que circundan el ámbito del Parque (Tabla 1).

Provincia	Id Estación	Estación	Activa
Cádiz	1	Basurta-Jerez de la Frontera	S
Cádiz	101	IFAPA Centro de Chipiona	S
Huelva	4	Moguer	S
Huelva	10	Almonte	S
Sevilla	3	Lebrija I	S
Sevilla	5	Aznalcázar	S
Sevilla	20	Isla Mayor	S

Tabla 1. Estaciones del IFAPA seleccionadas por proximidad al Parque.

Una vez descargados los datos, diversos procedimientos de gestión (ej.: filtrado de datos válidos, fusión de datos desde las dos fuentes) y sumarización (ej.: cálculos de promedios por ciclo anual) de bases de datos se encadenan en un proceso BATCH (Microsoft, 2010) (Figura 4) con el fin de obtener un único valor adecuado para cada estación.

```

set Ano=09
REM Deben proporcionarse los dos últimos dígitos del año de interés.
set Variable=Temperatura maxima
REM debe indicarse la variable deseada de entre las siguientes respetando la ortografía:
REM Precipitación, Temperatura del aire, Temperatura máxima, Temperatura mínima
for %X in (01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12) do (
for %Z in ("%Variable%") do (
copy meteo ICTS Variable_Mes_Ano.DBF meteo ICTS %Z %X_20%Ano%.DBF
for %S in (2,3,4,5,185,[18,270,289,295,304,310]) do (
for %W in (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31) do (
IF %W LSS 10 (
C:\mframon\wininet 1
"http://icts.ebd.csic.es/GeneradorDatosXMLGeneralServlet?idred=1&idestacion=%S&fechaInicio=0%W%W%U20%Ano%0000&fechaFin=0%W%W%U20%Ano%2359"
est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml
) ELSE (
C:\mframon\wininet 1
"http://icts.ebd.csic.es/GeneradorDatosXMLGeneralServlet?idred=1&idestacion=%S&fechaInicio=%W%W%U20%Ano%0000&fechaFin=%W%W%U20%Ano%2359"
est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml
)
for %X in (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23) do (
for %Y in (00,10,20,30,40,50) do (
C:\mframon\gestbd 24 "meteo ICTS %Variable% %X_20%Ano%.DBF" est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml * IDESTACION /equipos/equipo[@id='%S']/@id
C:\mframon\gestbd 24 "meteo ICTS %Variable% %X_20%Ano%.DBF" est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml -1 FECHA
"/equipos/equipo[@id='%S']/observaciones/observacion[@fecha='%W%W%U/%Ano% %X:%Y' and @nombrevariable='%Variable']/@fecha"
"/equipos/equipo[@id='%S']/observaciones/observacion[@fecha='%W%W%U/%Ano% %X:%Y' and @nombrevariable='%Variable']/@nombrevariable"
C:\mframon\gestbd 24 "meteo ICTS %Variable% %X_20%Ano%.DBF" est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml -1 VALOR
"/equipos/equipo[@id='%S']/observaciones/observacion[@fecha='%W%W%U/%Ano% %X:%Y' and @nombrevariable='%Variable']/@valor"
C:\mframon\gestbd 24 "meteo ICTS %Variable% %X_20%Ano%.DBF" est%Sano20%Ano%mes%Udia%W.xml -1 UNIDADES
"/equipos/equipo[@id='%S']/observaciones/observacion[@fecha='%W%W%U/%Ano% %X:%Y' and @nombrevariable='%Variable']/@unidades"
))))))
    
```

Figura 4. BATCH para la obtención de variables meteorológicas para un ciclo anual

b) Abundancia de fauna acuática:

Igual que para el caso de los datos meteorológicos, los datos de seguimiento de las especies pueden consultarse a través de la aplicación de la ICTS y, por lo tanto, pueden ser interrogadas vía *servlet*. En este caso se accede a un servidor diferente al de descarga de datos procedentes de equipos automáticos: [GeneradorDatosSeguimientoXMLServlet](#). Las variables a introducir en las consultas son: identificador de seguimiento (obligatorio), identificador de lugar y variable (p.ej.taxones) e intervalo de fechas que delimitan la consulta.

Seguimiento	Nombre
1	Anfibios
7	Calidad de agua
20	Invertebrados acuáticos
27	Peces
32	Reptiles
34	Vegetación acuática

Tabla 2. Tipos de seguimiento para la fauna acuática.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
- <seguimientos>
- <seguimiento id="20" nombre="invertebrados acuáticos">
  <lugar id="69" nombre="Alcornoque de la Jabata, laguna del" umtx="193225.53" umty="4104599.95" />
  <observaciones numero="0" />
  <lugar id="118" nombre="Alcornoque de las Monjas, zacallon del" umtx="192484.37" umty="4100584.75" />
  <observaciones numero="0" />
  <lugar id="34" nombre="Algaída de la Caquera, caño" umtx="193226.59" umty="4108553.13" />
- <observaciones numero="869">
  <observacion id="223715" fecha="27/01/09 11:55" taxon="Procambarus clarkii" unidad="Nº de individuos" valor="28.0"
  <observacion id="193441" fecha="27/01/09 12:26" taxon="Procambarus clarkii" unidad="Madurez sexual" valor="1.0" c
  <observacion id="193440" fecha="27/01/09 12:26" taxon="Procambarus clarkii" unidad="Sexo" valor="2.0" calidad="No
    
```

Figura 5. Ejemplo de descarga ICTS para el *Procambarus Clarkii*

En el actual trabajo, el principal caso de estudio de abundancia de fauna acuática ha sido el cangrejo americano (*Procambarus Clarkii*). La Figura 5 muestra el resultado en formato XML de una consulta sobre esta especie. De la misma forma que para las estaciones (proceso automático BATCH), posteriormente estos datos deben ser depurados de errores, realizando además cálculos estadísticos por ciclo anual hasta conseguir los datos preparados para los métodos de generación de mapas y modelos continuos.

c) Presencia/ausencia de vegetación acuática:

Por lo que respecta a la vegetación acuática, los datos sobre abundancia relativa son descargados de la misma aplicación de seguimiento que las de los cangrejos: [GeneradorDatosSeguimientoXMLServlet](#). Así, pues, siguen la misma estructura, en este caso con un idSeguimiento=34, correspondiente a la vegetación acuática (ver Tabla 2). En este caso, los taxones, identificados mediante el parámetro idVar, corresponden a las distintas especies de vegetación acuática presentes en los muestreos. Dado que se muestrean más de 80 especies distintas, se decidió acotar a 6 las especies estudiadas en el proyecto para generar los mapas interpolados de su distribución. De esta manera, se optó por las 3 especies más presentes (*Scirpus sp*, *Ranunculus sp* y *Callitriche sp*) y las 3 especies menos presentes (*Sparganium erectum*, *Lythrum salicaria* y *Hidrocaris morsus-ranae*), para poder comparar las distribuciones correspondientes. Un ejemplo de sintaxis de consulta es:

<http://icts.reserva.ebd.csic.es/GeneradorDatosSeguimientoXMLServlet?idSeguimiento=34&idVar=152&fechalnicio=010120090000&fechaFin=311220092359>

RESULTADOS

Generación de mapas continuos y/o modelos predictivos

Se han ensayado distintas metodologías que abordan el proceso de generar una representación continua de una variable cuantitativa a partir de valores observables en localizaciones puntuales de dicha variable (Lloyd, 2006). El objetivo principal ha sido abordar la forma particular de automatización de los distintos métodos y no la búsqueda del método ni de las posibles variables auxiliares que conduzcan a un mapa de mayor calidad predictiva.

Los métodos ensayados son:

- Interpolación espacial aplicada a:
 - Variables meteorológicas
 - Abundancia de fauna acuática
- Regresión multivariante + interpolación espacial de residuos aplicado a:
 - Variables meteorológicas
 - Abundancia de fauna acuática
- Regresión logística aplicada a:
 - Presencia/ausencia de vegetación acuática.

a) Interpolación espacial

Dos son los métodos implementados de interpolación espacial: Inverso ponderado de la distancia (IDW) (Bartier y Keller, 1996) y funciones regularizadas splines (Mitasova y Mitas, 1993). Estos métodos no consideran ninguna información adicional que no sea los valores observados y su distribución espacial. Ambos métodos permiten regular su comportamiento en base a la determinación de algún parámetro (exponente según Ecuación 1 para IDW y tensión y desviación para splines según Ecuación 2). Para determinar un valor adecuado de estos parámetros, se realiza el proceso de interpolación repetidamente dentro de un rango amplio de valores posibles. Para cada interpolación en particular se calcula un mismo parámetro de calidad y se comparan entre ellos. En este estudio se ha calculado un RMS (*root mean square*) a partir del método de validación cruzada (Burrough y McDonnell, 1998), procedimiento apropiado cuando no hay abundancia de datos observables, ya que no necesita reservar un subconjunto de datos para la validación. La Tabla 3 muestra una comparativa entre una selección representativa de estas ejecuciones:

$$z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{r_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^\beta}} \rightarrow r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

Ecuación 1. IDW, β es el parámetro clave exponente para el método splines.

$$z(x, y) = T(x, y) + \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R(r_i) \\ \rightarrow R(r_i) = - \left\{ \ln \left[\frac{\varphi \cdot r_i}{2} \right] + E_1 \cdot \left[\frac{\varphi \cdot r_i}{2} \right] + C_E \right\}$$

Ecuación 2. λ_i , $T(x,y)$ y E_1 son los parámetros clave tensión y desviación

TENSION	RMS	TENSION	RMS
100	3.16447	375	3.030395
125	3.133973	400	3.025946
150	3.112054	425	3.021885
175	3.095318	450	3.018157
200	3.081975	475	3.014718
225	3.070995	500	3.01153
250	3.061742	50	3.299918
25	3.569252	525	3.008563
275	3.053797	550	3.005792
300	3.04687	575	3.003195
325	3.040756	600	3.000754
350	3.035302	75	3.211771

Tabla 3. Comparativa de los distintos valores de RMS para las distintas ejecuciones de *splines* en el caso de la temperatura máxima.

La Figura 6 muestra un ejemplo seleccionado de los mapas generados automáticamente para la representación continua obtenidos mediante interpolación espacial.

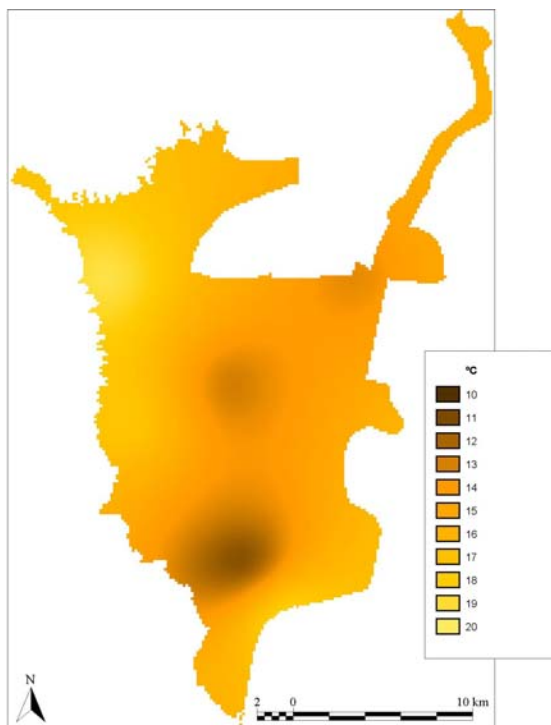


Figura 6. Interpolación (splines tensión=100 y desviación=100) de temperatura del aire (2008-2009).

b) Regresión multivariante + interpolación espacial de residuos

La concatenación de estos dos procesos en único módulo (*Regmult* del software MiraMon) (Pesquer, 2007) permite combinar las aportaciones de las variables auxiliares mediante una regresión multilineal y posteriormente modelizar la dependencia espacial de las anomalías (residuos) no explicadas por dichas variables auxiliares.

$$Y = a_0 + \sum_{j=1}^N a_j \cdot x_j$$

Ecuación 3. Expresión de la regresión multivariante: Y variable dependiente, X_j , a_j coeficientes a determinar.

A la regresión multivariante se le introducen todas las variables independientes candidatas y el propio método determina cuáles son significativas y cuáles no aportan ninguna información. El resultado es una superficie calculada al determinar los parámetros a_j de la Ecuación 3, de la cual se extraen las diferencias entre los valores observados y calculados de la variable dependiente que configuran los residuos o anomalías. Estos residuos son posteriormente interpolados espacialmente según uno de los métodos del apartado a) anterior. De nuevo la validación cruzada permite obtener un parámetro de calidad del modelo.

La Tabla 4 muestra las variables independientes introducidas en la regresión para el caso de estudio del cangrejo americano (*Procambarus clarkii*), las finalmente seleccionadas como significativas con su coeficiente normalizado y la Figura 7 muestra el mapa resultado global de la regresión + interpolación de residuos.

Variable independiente	Seleccionada	Coficiente
Hidroperiodo	No	-
Presencia/ausencia de vegetación acuática	Sí	0.294351
Temperatura máxima del ciclo	Sí	0.402779

Tabla 4. Variables auxiliares para la regresión multivariante de *Procambarus clarkii* para el ciclo 2007-2008.

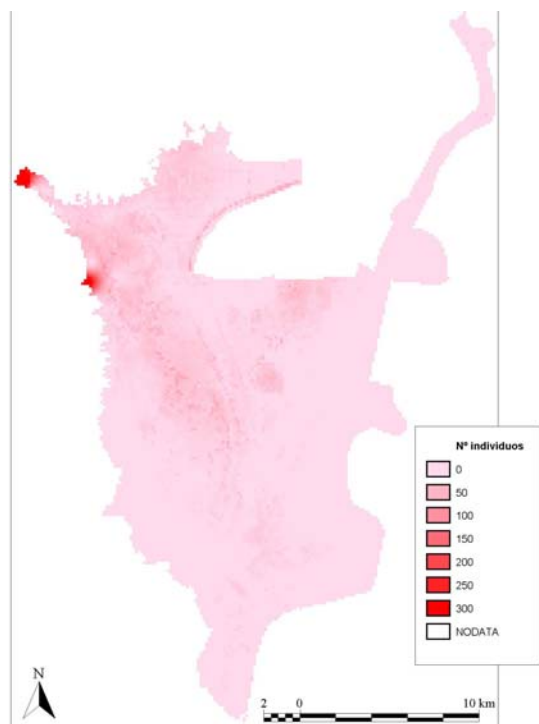


Figura 7. Regresión múltiple con interpolación de residuos para el caso del cangrejo americano (*Procambarus clarkii*) en el ciclo 2007-2008.

Las variables auxiliares incorporadas al modelo constituyen un ejemplo ilustrativo de la variedad de información posible de manejar en un entorno de Sistemas de Información Geográfica: productos derivados de imágenes satelitales (NDVI, turbidez), estaciones meteorológicas (hidroperiodo), variables topográficas (radiación solar potencial), etc. Nuevamente constituyen un ensayo para la obtención automática de estos cálculos derivados de fuentes diversas.

c) Regresión logística

La regresión logística (Kleinbaun, 1994) es el método seleccionado para la generación de mapas de presencia/ausencia de vegetación acuática añadiendo variables auxiliares a los datos observables. De forma análoga a la regresión multivariante, se proponen una serie de variables auxiliares de las que el método descarta aquellas que no son suficientemente significativas y se ajustan los parámetros de la combinación de funciones exponenciales que se ilustra en la Ecuación 4. La característica propia de la regresión logística constituye la modelización de la probabilidad (0 a 1) de presencia en zonas problema, teniendo en cuenta únicamente las variables auxiliares, pero no analiza ni usa ningún patrón de distribución espacial.

$$P(Y = 1) = \frac{e^Z}{1 + e^Z} = \frac{1}{1 + e^{-Z}}$$

$$Z = a_0 + \sum_{j=1}^N a_j \cdot X_j$$

Ecuación 4. Expresión de la regresión logística como probabilidad de presencia de la variable dependiente Y en función de las variables auxiliares X_j .

La Tabla 5 constituye un caso de estudio de la especie acuática *Scirpus sp* y la Figura 8 el correspondiente mapa de probabilidad de presencia.

Variable independiente	Seleccionada	Coficiente
Hidroperiodo	No	-
Máximo NDVI del ciclo	No	-
Turbidez (Bustamante, 2009)	Sí	-0.001101
Conectividad zonas inundadas (Díaz-Delgado, 2006 y 2010; Gardiner, 2007)	Sí	0.000505
Media del NDVI del ciclo	Sí	-4.841668
Media de las temperaturas máximas del ciclo	Sí	1.327192

Tabla 5. Variables auxiliares para la regresión logística de *Scirpus sp* en el ciclo 2007-2008.

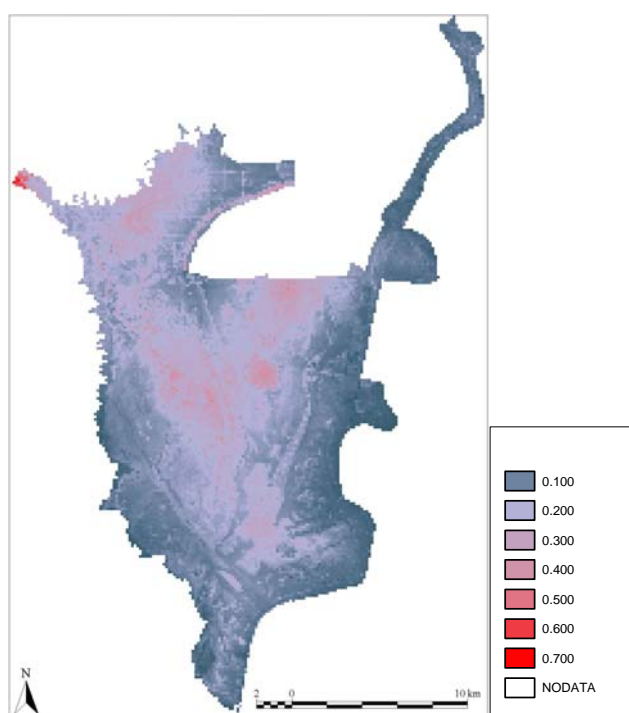


Figura 8. Mapa de probabilidad de presencia de *Scirpus sp* para el ciclo 2007-2008.

Publicación y distribución de resultados

La distribución de los mapas continuos de las distintas variables estudiadas en un entorno web constituye un paso imprescindible para la máxima difusión posible de la cartografía generada. A la vez, el uso de protocolos OGC (Open Geospatial Consortium, 2008) estandarizados (como los servidores de mapas WMS) permite la integración de los datos generados en las emergentes Infraestructuras de Datos Espaciales y su interoperabilidad con el resto de datos disponibles.

La integración de los mapas en el servidor ya existente de la Estación Biológica de Doñana: <http://mercurio.ebd.csic.es/seguimiento/> constituye el último paso del proceso que en el entorno del proyecto también debe automatizarse. La herramienta CreaMMS (Masó, 2005) del software MiraMon permite preparar las capas que posteriormente serán servidas y accesibles a cualquier cliente OGC. La Figura 9 muestra el mapa de la Figura 8 en su forma distribuida en el portal web de la Estación.

Adicionalmente, para los mapas generados con la metodología que se propone en este trabajo se ha desarrollado un servicio interoperable WPS (Schut, 2007) de combinación analítica de capas. Este servicio permite al usuario demandar los procesos habilitados por el servidor (p.ej. cruce entre los mapas generados en dos ciclos consecutivos para analizar su evolución) según sus preferencias (Michaelis, 2009).

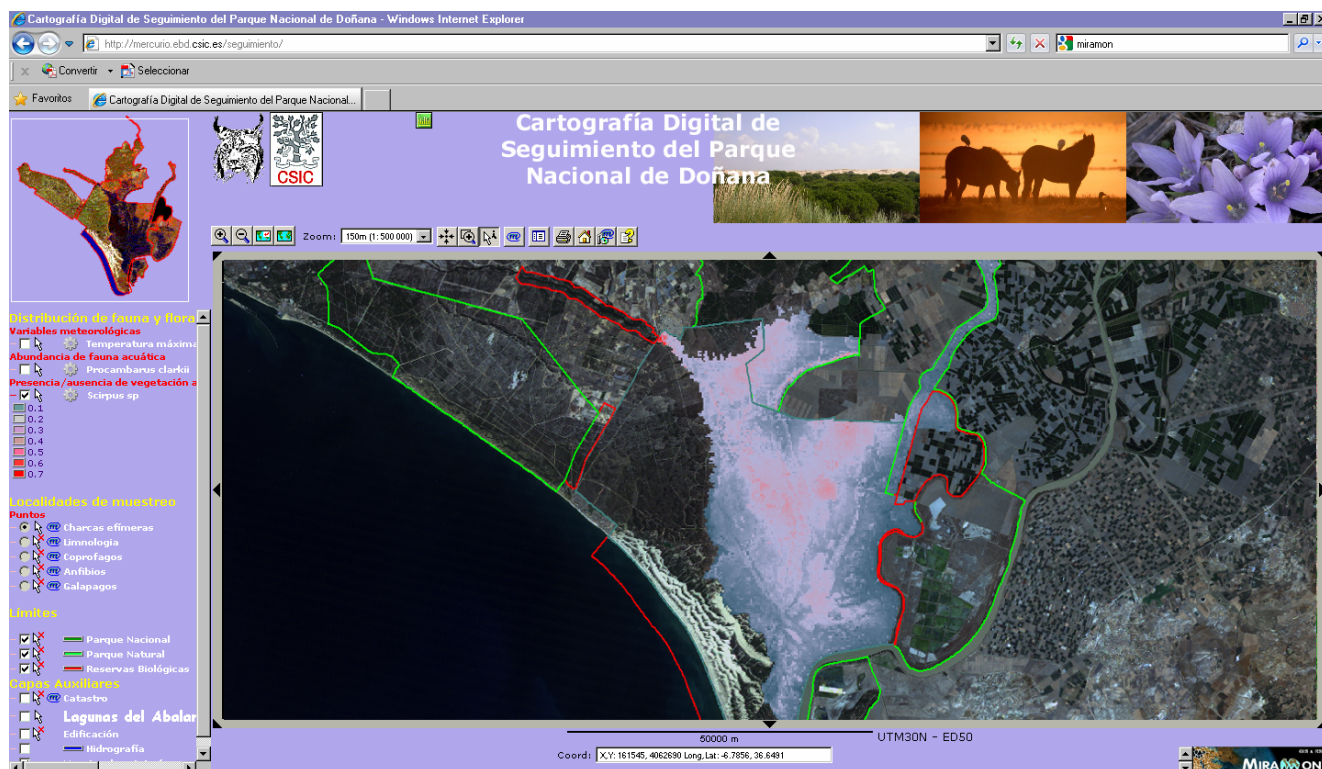


Figura 9. Aspecto del Servidor de Cartografía Digital de Seguimiento del Parque Nacional de Doñana, donde son publicados los mapas generados en el proyecto, en el apartado de Distribución de fauna y flora.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares de la implementación de una metodología automática de cartografía de variables ecológicas y biofísicas ponen de manifiesto el elevado interés de este ejercicio desde varias perspectivas. Desde el punto de vista de la difusión de los datos, facilita la interpretación de los datos recabados sistemáticamente mediante el programa de seguimiento ecológico a largo plazo del Parque Nacional de Doñana. La representación espacial de la abundancia, la presencia o la ausencia de determinadas especies permite de un solo vistazo comparar la distribución entre diferentes ciclos hidrológicos evidenciando cambios y tendencias asociadas a determinadas localidades permitiendo establecer la relación con los diferenciados eventos ocurridos. Además, el empleo de servicios WPS incrementa las posibilidades de acceso del portal web de datos de la ICTS-Doñana permitiendo representar gráficos temporales de tendencias poblacionales por ejemplo con las cartografías correspondientes seleccionadas por el usuario, adentrándose claramente en el desarrollo Web 2.0.

Desde el punto de vista analítico, permite explorar las relaciones existentes entre variables incluyendo el contexto espacial y por ende determinar los factores críticos en la distribución y abundancia de determinadas especies. Es en este sentido, en el que se está efectuando el mayor esfuerzo con objeto de identificar la metodología más adecuada, en función de su validación, para ser sistemáticamente implementada bajo petición, en tiempo casi real (recordemos que los datos se adquieren en campo y el mismo día se actualizan en la base de datos central en el caso de seguimientos manuales y en la misma hora de adquisición en el caso de sensores automáticos) y trasladados al servidor de mapas completamente estándar. El empleo de variables prototipo en función de su frecuencia de adquisición y método (localidad, parcela o transecto) ha permitido valorar la adecuación de la metodología empleada al amplio abanico de información disponible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de este trabajo a través del proyecto “Procedimiento automático de adquisición, interpolación y generación de mapas de abundancia y distribución de fauna y flora. Aplicación al sistema de cartografía de biodiversidad del Parque Nacional de Doñana” por parte de la Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía y del Instituto de Cartografía de Andalucía, mediante las ayudas a la investigación en materia de información geográfica. Además los autores agradecen especialmente al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación continuada a la ICTS de la Reserva Científica de Doñana mediante sus programas de accesos y mantenimiento, además de a través de su proyecto ACI-Promociona “La ICTS-RCD en la hoja de ruta ESFRI”. 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”.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bartier, P. M., Keller, C. P., 1996. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers & Geosciences*, 22, (7), 795-799 pp.
- Bravo, M.A. (2010): Monitoring aquatic ecosystems at Doñana Natural Space. En: C. Hurford, M. Schneider e I. Cowx, (Ed.), *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: A Practical Guide and Case Studies*. Springer, Dordrecht, pp. 339-355.
- Burrough, P.A, McDonnell, R.A. (1998) *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, 333 pp.
- Bustamante, J., Pacios, F., Díaz-Delgado R. and Aragonés, D. (2009). Predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images. *Journal of Environmental Management*. 90:2219-2225
- Díaz-Delgado, R., Bustamante, J., Aragonés, D. and Pacios, F. (2006). Determining water body characteristics of Doñana shallow marshes through remote sensing. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium & 27th Canadian Symposium on Remote Sensing (IGARSS2006)*, organised by the Geoscience and Remote Sensing Society. Denver, Colorado, EE.UU., 31 julio-4 agosto 2006. ISBN: 0-7803-9510-7 . Pag: 3662-3664. DOI.10.1109/IGARSS.2006.938
- Díaz-Delgado, R. (2010): An Integrated monitoring programme for Doñana Natural Space: The set-up and implementation. En: C. Hurford, M. Schneider e I. Cowx, (Ed.), *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: A Practical Guide and Case Studies*. Springer, Dordrecht, pp. 375-386.
- Díaz-Delgado, R., Aragonés, D., Amezttoy, I. and Bustamante, J. (2010). Monitoring Marsh Dynamics Through Remote Sensing. In: *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: A Practical Guide and Case Studies*. Hurford, Clive; Schneider, Michael; Cowx, Ian (Eds.) Pp. 325-337. Springer. DOI.10.1007/978-1-4020-9278-7. Dordrecht.
- Gardiner, N., and Díaz-Delgado R. (2007). Trends in Selected Biomes, Habitats and Ecosystems: Inland Waters. In *Sourcebook on Remote Sensing and Biodiversity Indicators*. Strand, H., Höft, R., Strittholt, J., Miles, L., Horning, N., Fosnight, E., eds. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series no. 32, 201 pages. Pp. 83-102. ISBN: 92-9225-072-8
- Gutiérrez Martínez, J. M., Palacios, F. and Gutiérrez de Mesa, J.A. (2003). El estándar XML y sus tecnologías asociadas. Danysoft (ed.) ISBN: 84-932720-1-9 pp 506.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size *Computers & Geosciences* 32 1283–1298
- Java Servlet Technology: <http://java.sun.com/products/servlet/>
- Kleinbaun, D.G. (1994). *Logistic regression*. New York, Springer-Verlag
- Lloyd, C. D. (2006). *Local Models for Spatial Analysis*. CRC Press, Belfast. 244 pp.

- Masó J., Pons. X. (2005). Adding functionalities to WMS-WCS Clients: Download And Animation, International Cartographic Conference, A Coruña, 9-16.
- Michaelis CD y Ames DP (2009) Evaluation and Implementation of the OGC Web Processing Service for Use in Client-Side GIS. *Geoinformatica*, 13: 109-120 [DOI 10.1007/s10707-008-0048-1].
- Microsoft Corporation (2010) Using BATCH files [en línea]. <http://www.microsoft.com/resources/documentation/windows/xp/all/proddocs/en-us/batch.msp?mfr=true> [Consulta: 10.07.2010]
- Mitasova, H., Mitas, L. (1993). Interpolation by Regularized Spline with Tension. *Mathematical Geology*, 25 (6) 641-655 pp.
- Open Geospatial Consortium (2008): OGC Reference Model, Open Geospatial Consortium Inc. Date: 2008-11-11 Reference number: OGC 08-062r4 Version: 2.0
- Pesquer, L., Masó J., Pons X. (2007) Integración S.I.G. de regresión multivariante, interpolación de residuos y validación para la generación de rásters continuos de variables meteorológicas *Revista de Teledetección*.ISSN: 1133-0953. 28: 69-76
- Pons, X., (2000). MiraMon. Geographical Information System and Remote Sensing Software. Center for Ecological Research and Forestry Applications, CREAM, ISBN: 84-931323-4-9 In Internet: <http://www.cream.uab.es/MiraMon>
- Schut P. (2007). OGC Web Processing Service (WPS), Version 1.0.0, OGC 05-007r7: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=24151 [Consulta 20 Marzo 2010].