



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Propuesta cartográfica para la creación de un atlas de distribución de especies y su implementación en un visor web.

Autor

Adrián Estrada Sánchez

Director

Luis Alberto Longares Aladrén

Facultad de Filosofía y Letras
2014

Repositorio de la Universidad de Zaragoza - Zaguán
<http://zaguán.unizar.es>

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROPUESTA CARTOGRÁFICA PARA LA CREACIÓN DE UN ATLAS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES Y SU IMPLEMENTACIÓN EN UN VISOR WEB.

Autor: Adrián Estrada Sánchez

Director: Dr. Luis Alberto Longares Aladrén

**Máster Universitario en
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación
del territorio: sistemas de información geográfica y
teledetección**

Diciembre de 2014



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de
Geografía y Ordenación
del Territorio**



Resumen

Este estudio se ha enfocado a sintetizar y homogeneizar diversas bases de datos que incluyen registros de presencia de las especies de reptiles y anfibios presentes y reportadas en Aragón. El trabajo ha producido una base de datos coherente, con 21.343 registros únicos, que se han georeferenciado a las cuadrículas UTM 10 x 10 km y 1 x 1 km, en el segundo caso si la información estaba contenida en los registros originales. Este estudio también ha desarrollado un visor que sintetiza la información acerca del número de registros existente para cada cuadrícula de la malla UTM, y produce una estimación de la abundancia de cada especie en relación al total de las mismas, para cada cuadrícula. El visor, programado en OpenLayers, hace uso de esta información y la proporciona junto con una serie de datos de distribución y de la ecología de cada especie. Finalmente, hemos desarrollado una serie de modelos sobre la herpetofauna de Aragón que permiten señalar las variables abióticas con mayor impacto en la presencia de las especies, así como dibujar el territorio más plausible de distribución de la especie. Estos modelos, además de proporcionar información acerca de las variables limitantes de cada especie, permiten averiguar las zonas en las que concentrar los esfuerzos para futuras capturas.

Palabras Clave: *herpetofauna Aragón, base de datos, visor Internet, modelos correlativos.*

Abstract

This study focuses on the homogeneization and cleaning of several datasets including records of presence of anfibia and reptilia in Aragón. The work produced a coherent dataset with 21,343 unique records georeferenced to the UTM grids of 10 x 10 km and 1 x 1 km, if such information was already available in the original records. This study has also developed a viewer that synthesizes the information about the number of records of each cell of the grid, and provides with estimations about the relative abundance of each species. The viewer has been programmed in OpenLayers, and uses the information together a group of data about distribution and ecology of each species. Last, but not least, we developed correlative models of the distribution of the herpetofauna in Aragón, that point to the most important abiotic variables shaping the distribution of these species, as well as the most probable territory on which the species should be further surveyed. The models, other than information about the limiting variables impacting on each species, allow the estimation of the most plausible area of distribution of each species.

Key Words: *herpetofauna, Aragon, database, Internet viewer, correlative modelling.*

Índice

1.	Agradecimientos	pág. 5
2.	Introducción	pág. 6
3.	Objetivos	pág. 8
4.	Antecedentes	pág. 9
5.	Metodología del trabajo	pág. 13
	5.1. Datos generales	pág. 13
	5.2. Procesado inicial de los datos y obtención de cartografía	pág. 14
	5.3. Modelado del hábitat	pág. 16
	5.4. Desarrollo de un visor Web cartográfico de la distribución de anfibios y reptiles	pág. 22
6.	Resultados y discusión	pág. 24
	6.1. Esfuerzo y productividad general	pág. 24
	6.2 Esfuerzo y productividad por especies	pág. 25
	6.2.1. Sapo corredor (<i>Bufo calamita</i>)	pág. 25
	6.2.2 Culebra viperina (<i>Natrix maura</i>)	pág. 25
	6.2.3 Culebra bastarda (<i>Malpolon monspesulanuss</i>)	pág. 25
	6.2.4 Sapo de espuelas (<i>Pelobates cultripes</i>)	pág. 25
	6.2.5 Rana común (<i>Perophilax perezii</i>)	pág. 26
	6.2.6 Lagarto ocelado (<i>Timon lepidus</i>)	pág. 26
	6.3 Visor web de información	pág. 26
	6.4 Resultados de los modelos de distribución basados en el nicho abiótico	pág. 28

7.	Discusión	pág. 31
8.	Conclusiones	pág. 34
9.	Bibliografía	pág. 35

Agradecimientos

Me gustaría dedicar unas líneas a las personas que han hecho posible que este trabajo esté terminado.

En primer lugar al Dr Luis Alberto Longares quien me dio la oportunidad de adentrarme en el mundo de la herpetología y que este año me ha acompañado indagando más en las posibilidades que ofrece la cartografía para estas especies.

A Fernando López, por permitirme realizar las practicas de verano en el CINTA y a Rafael Martínez, quien me instruyó y ayudó en todo lo que necesitaba para realizar el visor. Sus consejos han servido de mucho a lo largo de estos meses.

Manuel Alcántara y Victor Sanz (Servicio de Biodiversidad de la DGA) incorporaron su granito de arena compartiendo su base de datos herpetológica. A día de hoy ya forma parte del total de registros que hay en Aragón.

Gracias también a Benito quien fue nuestro contacto y coordinador en los comienzos de este proyecto. De la misma forma, mi agradecimiento a ANSAR por la encomiable labor que llevan a cabo, sin olvidar a sus colaboradores que hacen posible que esta base siga creciendo. La base de datos que enviaron fue la pieza clave para desarrollar todo el trabajo.

Aitor Valdeón ayudó en gran manera en el apartado de modelado y programación en R. Sin él, esa parte sería mucho más pobre o hubiera costado mucho más esfuerzos de programar.

A mi familia y amigos que de una manera o de otra han contribuido a que siguiese adelante y nunca me rindiese.

Introducción

La capacidad de creación de mapas descriptivos de distribución de organismos vivos ha evolucionado mucho en muy poco tiempo, de forma conjunta con los conceptos de "álgebra de mapas". Hace algunos años eran necesarios meses de tedioso trabajo para completar un atlas de distribución de especies. Actualmente y gracias a los avances tecnológicos en velocidad y capacidad informática, estos meses de trabajo se reducen de manera significativa, permitiendo además un mayor y mejor manejo de datos.

La llamada "Web 2.0" ha significado un cambio de paradigma, no solamente en lo relativo a las redes sociales y capacidad de intercomunicación, sino en la forma en la que los datos georeferenciados se pueden representar y hacerse accesibles para múltiples plataformas en cualquier lugar del mundo. Diversas iniciativas han aprovechado estas posibilidades y han desarrollado la capacidad de acceder a grandes bases de datos a partir de una interfaz cartográfica. De la misma forma, los resultados de complejas búsquedas, normalmente basadas en SQL, pueden representarse sobre una base cartográfica.

El proyecto que presentamos constituye la continuación y mejora de la primera aproximación a la elaboración de un atlas de distribución, realizado como trabajo fin de licenciatura y titulado "Propuesta cartográfica para la creación de un Atlas de distribución de anfibios", (Estrada Sánchez, 2013). En dicho trabajo se analizaron los registros de presencia de 12 especies de anfibios para todo Aragón, desde el año 1963, incluyendo bases de datos que se sabía incompletas, pero desarrollando la idea de un nuevo modelo de cartografía que permitiera visualizar un conjunto de datos de interés biológico, en una sola página. Mientras que en el anterior proyecto de fin de licenciatura se trabajó con 3.339 registros, en el estudio actual se han superado los 21.000 registros de anfibios y reptiles identificados en Aragón.

El citado trabajo de licenciatura ha servido de base para el desarrollo del trabajo fin de master que aquí se presenta, avanzando en técnicas y métodos aprendidos en el Master Universitario en Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección, que han permitido mejoras en la georeferenciación de los datos, el manejo de bases de datos y su homogeneización, la elaboración de la cartografía de distribución de especies, y la creación de modelos de nicho ecológico para cada uno de los anfibios y reptiles conocidos para Aragón. Por último, el trabajo se ha completado mediante la colaboración con el CINTA para el desarrollo de un

visor, accesible a través de un script de página web, que permite la consulta de las cartografías de distribución que han resultado de este proyecto.

Para este trabajo, se ha ampliado el número de registros de localización de anfibios y reptiles en Aragón, manejando para ello varias bases de datos, desarrollando al mismo tiempo nuevos aspectos relativos a la biogeografía de cada una de las especies presentes en la Comunidad Aragonesa, que han permitido elaborar una nueva cartografía de predicción de hábitat, aplicando software específico para el estudio de nicho ecológico así como su tratamiento estadístico, todo ello en el entorno del software "R".

Objetivos

Nuestro objetivo principal es aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación del Master para desarrollar una cartografía novedosa de distribución de anfibios y reptiles de Aragón, organizando la información procedente de varias fuentes, y dotándole al mismo tiempo de visibilidad y accesibilidad a través de un visor web.

Este objetivo principal tiene a su vez una serie de objetivos secundarios:

- Elaborar por primera vez una cartografía de distribución de anfibios y reptiles de Aragón a partir de los datos proporcionados por diferentes asociaciones y organismos oficiales. En suma, unificar diversas bases de datos ya existentes y dotarlas de una unidad estructural.
- Plantear una cartografía de indicadores (esfuerzo-productividad) que muestren a una escala cartográfica UTM 10 x 10 km., la situación actual de este grupo faunístico en Aragón.
- Elaborar modelos de probabilidad de presencia de especies (idoneidad climática) a partir del análisis del hábitat a través de variables bioclimáticas.
- Desarrollar un visor web que permita la consulta de la distribución global y específica de anfibios y reptiles en Aragón y los rangos de distribución para las principales variables abióticas de las áreas que ocupan.

Antecedentes

Aunque la elaboración de atlas de distribución es una práctica habitual en biogeografía, con el tiempo ha cambiado el planteamiento con el que se procesan esos datos. Utilizando los atlas visitados para el anterior proyecto (Estrada Sánchez, 2013) se ha intentado darle un nuevo giro a la forma de representar información en un mapa, con objeto de su integración en un futuro Atlas de Anfibios y Reptiles en Aragón.

Al mismo tiempo, el desarrollo de un visor web que facilite la consulta de la información de estas especies, constituye una tipología de cartografía que ha ido en auge en los últimos años. Esta presenta características especiales y sus diseños y accesibilidades son variados, como se puede observar en algunos de los más destacados y que se muestran a continuación.

Atlas de Biodiversidad de Anfibios y Reptiles de la Región Metropolitana de Chile. (Lobos G, et al. (2010) <http://www.atlasherpetozoos.cl/>, acceso, Septiembre de 2014). Este atlas presenta una serie de fichas para cada una de las subclases (20 especies de reptiles y 8 de anfibios), que se muestran separadamente para cada especie y como una imagen fija de un atlas. En esta página se muestra una imagen del individuo y un mapa en el que se representa el hábitat a través de un polígono coloreado. En la parte inferior se encuentra información como el nombre científico, una descripción para favorecer la identificación y unas líneas sobre su ubicación en el país.

Se ha vuelto a analizar el “**Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España**”. Este trabajo data del año 2002 y fue coordinado por Juan M. Pleguezuelos, Rafael Márquez y Miguel Lizana, bajo la petición del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y en colaboración con la Asociación Española de Herpetología (AEH). El Atlas fue concebido como la compilación de los datos existentes acerca de la herpetofauna en España y con indicación expresa del estado de conservación de cada especie. Aunque no se trata de un visor como tal, dispone de una visualización del propio atlas desde la web, así como la posibilidad de descarga de los capítulos en formato pdf.

El recurso digital más importante acerca de la distribución de los anfibios y reptiles en España es el **Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España**, albergado por el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino (<http://siare.herpetologica.es>). Este servicio utiliza la superposición de los mapas generados con la malla UTM de 10 x 10 km., empleando como fondo cartográfico la API de Google Maps. En este caso la búsqueda se realiza mediante el nombre científico de la especie o mediante el nombre de la cuadrícula.

Mediante este formato pueden observarse las especies encontradas en la cuadrícula deseada, la cantidad de individuos de cada especie e incluso la ubicación de la cuadrícula, utilizando de la misma forma la cartografía de Google. Es interesante destacar la posibilidad de descarga de los datos generados por el servidor, usando siempre el formato KML de los mapas de Google. Además de superponer esta información en cualquier software que acceda a la API de Google Maps, las modernas plataformas de software SIG son capaces de importar estos archivos y convertirlos en polígonos georeferenciados. Ello facilita los posibles cálculos posteriores en estudios elaborados a partir de estas referencias.

La superposición de los datos sobre la capa de Google Maps representa un avance extraordinario, ya que permite realizar cambios de ampliación o escala sobre la zona deseada, corrigiendo el problema que puede ocasionar el sobredimensionamiento en algunas zonas de gran concurrencia de individuos. Sin embargo, esto también puede representar un problema que puede aparecer en el visualizado de las cuadrículas de este recurso digital. En muchos casos, se carece de información importante, como la fecha de recogida de datos o el difícil acceso a algunos datos accesorios o secundarios en algunos casos.



Figura 3.1 Ejemplo del visor de SIARE con la distribución de la especie *Pelobates cultripes*

El **Atlas de Anfibios de Tennessee**, (1996: <http://apbrwww5.apsu.edu/amatlas/title.htm>, visitada en Agosto de 2014) presenta los datos ordenados según el

número de citas, lo que nos permite hacernos una idea de la fiabilidad de la presencia de una especie en una zona dada. La página web tiene una estructura similar a la mencionada anteriormente para los datos relativos a Chile, con un mapa y la ubicación de la cita mediante “manchas” de color en la localidad del estado de Tennessee.

AmphibiaWeb proporciona una información mundial acerca de la distribución, estatus de conservación y de amenazas sobre las especies de anfibios de todo el Mundo (<http://amphibiaweb.org>, visitada en Septiembre de 2014). El proyecto es capaz de representar la información según especies o países y proporciona información bibliográfica relacionada con los anfibios. La ubicación por puntos se asemeja a una malla UTM pero su ubicación es confusa debido al tamaño de territorio que pretende abarcar. Se trata de citas puntuales, sin adscripción a un territorio o a una cuadrícula, que cumple una función bien definida de “mostrar la información” sin permitir otro tipo de análisis. Es interesante mencionar que este sitio Web no utiliza la cartografía de Google, sino que usa el motor Berkeley Mapper, el cual se nutre de los datos de OpenStreetMap, un servicio abierto. Cada punto puede ocupar una extensión de mas de 200 km². En algunas ocasiones, la expresión temática de la frecuencia y localización de las especies de anfibios se realiza como círculos de colores.

El "**Atlas of living Australia**" (spatial.ala.org.au, visitado en octubre de 2014) utiliza un complejo sistema para presentar una gran cantidad de información sobre la presencia o ausencia de especies, tanto para la extensión real de la especie, la de Australia, o para todo el mundo. La selección de especies se realiza mediante integración por teclado y se añade a modo de capa (se puede desactivar o borrar más adelante). El cambio de mapa base permite cambiar entre uno satelital (normalmente procedente del "BlueMarble" de NASA) o un mapa de cartográfico con información procedente de la API de Google.

El "**Atlas virtual de vertebrados de León**" (<http://oslo.geodata.es/gia/leon.php?>) consiste en una aplicación informática Web, de libre acceso, que permite visualizar la distribución de las especies de vertebrados presentes en la provincia de León sobre el territorio a través de sistemas de información geográfica (SIG). Todo el sistema está basado en la información almacenada y mantenida en una base de datos relacionada. Además permite una actualización constante, recopilando toda la información existente hasta el momento acerca de una especie dada y facilitando la inclusión de nuevos registros por cualquier usuario a través de internet. Como novedad que se incorporó a partir del año 2009, los usuarios registrados pueden acceder en todo momento mediante contraseña a sus propios datos, descargándolos a su equipo o consultándolos "on line" en su página de acceso restringido. Cuadrículas de 10x10. Esta página web utiliza

cuadrículas de 10 x 10 km. y un mapa procedente de los datos de la API de Google Maps utilizado como fondo las cuadrículas UTM de presencia según lo solicitado en la barra de selecciones.

Además de estos antecedentes expuestos se ha estudiado también un visor de reciente aparición, el **atlas de la flora de los Pirineos**. Este visor oculta, detrás de su aparente sencillez, una gran cantidad de características. Las búsquedas se realizan bien mediante la indicación de una especie o mediante la selección de la cuadrícula (10 x 10 km. o 1 x 1 km.). La segunda opción permite comprobar los registros que están contenidos en cada una de las cuadrículas seleccionadas. Las cuadrículas se dividen en 6 zonas distintas que abarcan todos los Pirineos (incluyendo la porción francesa del territorio). Tras la selección de una especie concreta, esta se visualiza en el mapa (tanto en zonas de 10 o de 1 km.). Se muestra así el abanico de elevación en el que ha sido capturada la especie, según los registros existentes (visualizaciones en campo y bibliografía) así como el porcentaje de presencia en las diferentes zonas antes mencionadas.



Figura 3.2 Ejemplo del visor del Atlas de Flora de los Pirineos para la especie *Osyris alba*

Metodología de trabajo

1. Datos generales

Los datos utilizados en este estudio provienen de registros obtenidos o compilados por la Asociación Naturalista de Aragón (ANSAR), que fueron completados con datos procedentes de la base de datos de la Asociación Herpetológica Española (AHE), que aglutina gran parte de la información existente a nacional a través del S.I.A.R.E. (Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España) y por último la base de datos gestionada por el Servicio de Biodiversidad de la Diputación General de Aragón (DGA). Estos últimos provenían casi en su totalidad del Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Junto a estos datos, se han utilizado registros de colecciones privadas o de museos para completar los datos más antiguos. En líneas generales, la base de datos completa contiene registros desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, con un total de 21.474 registros no repetidos.

Todos estos registros se caracterizan por tener una información mínima y básica, que se ha complementado en el momento en el que se realiza la identificación del individuo en el campo. La información consta de unos campos que se deben rellenar de manera obligatoria. Estos datos incluyen el nombre científico del espécimen, la cuadrícula UTM de 10 x 10 km., la fecha de observación y la localidad o el municipio. El resto de los campos son voluntarios.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	B.D. Origen	ID	Especie	Codigo DGA	DVULGAR	Fecha	Year	C. UTM 10 Km.	Cuadrícula	C. UTM 1 Km.
2	BDH	6	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1975	1975	YM33	30TYM33	
3	BDH	7	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1997	1997	YM33	30TYM33	
4	BDH web	30	Rana temporaria	Rantem	Rana bermeja	28-06-2010	2010	YN23	30TYN23	YN2430
5	BDH	31	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1997	1997	XL48	30TXL48	
6	BDH web	31	Bufo spinosus	Bufspi	Sapo común	02-07-2010	2010	YN04	30TYN04	YN0543
7	BDH web	32	Rana temporaria	Rantem	Rana bermeja	19-07-2010	2010	YN04	30TYN04	YN0444
8	BDH	33	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1974	1974	YL49	30TYL49	
9	BDH web	33	Pelophylax perezi	Pelper	Rana común	31-07-2010	2010	XM71	30TXM71	XM7315
10	BDH	45	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1973	1973	BG80	31TBG80	
11	BDH web	52	Rana temporaria	Rantem	Rana bermeja	15-08-2010	2010	YN24	30TYN24	YN2841
12	BDH web	53	Alytes obstetricans	Alyobs	Sapo partero común	14-08-2010	2010	BH71	31TBH71	BH7715
13	BDH web	61	Bufo spinosus	Bufspi	Sapo común	22-08-2010	2010	YN23	30TYN23	YN2430
14	BDH	105	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	XM82	30TXM82	
15	BDH	106	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	XM81	30TXM81	
16	BDH	107	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YM02	30TYM02	
17	BDH	108	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	XL39	30TXL39	
18	BDH	109	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YL16	30TYL16	
19	BDH	110	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YL14	30TYL14	
20	BDH	111	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YL15	30TYL15	
21	BDH	112	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YM01	30TYM01	
22	BDH	113	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	YM11	30TYM11	
23	BDH	114	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1990	1990	XL29	30TXL29	
24	BDH	130	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1982	1982	XM71	30TXM71	
25	BDH	137	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1981	1981	XM71	30TXM71	
26	BDH	138	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1981	1981	XM70	30TXM70	
27	BDH	139	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1981	1981	YL46	30TYL46	
28	BDH	149	Acanthodactylus erythrurus	Acaery	Lagartija colirroja	1983	1983	YM33	30TYM33	
29	BDH	195	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XM03	30TXM03	
30	BDH	196	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XM13	30TXM13	
31	BDH	197	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XM81	30TXM81	
32	BDH	198	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XM40	30TXM40	
33	BDH	199	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XM79	30TXM79	
34	BDH	200	Anguis fragilis	Angfra	Lución	2000	2000	XN84	30TXN84	

Figura 4.1 Tabla Excel con algunos de los registros de la base de datos

En los registros obtenidos a partir de la década de 1990 comienza a estar presente el campo que corresponde a la cuadrícula UTM de 1 x 1 km. Unos dos años más tarde, este campo se convirtió en uno de los campos indispensables que se tienen que rellenar para cumplimentar el formulario de observación. Por las razones mencionadas, tal resolución geográfica está ausente en los registros anteriores.

2. Procesado inicial de los datos y obtención de cartografía.

El proyecto que nos ocupa sigue en gran medida la misma metodología que el estudio anterior mencionado en la Introducción (Estrada Sánchez, 2013). Utilizando un programa con hojas de cálculo se ordenó y clasificó la información obtenida en función de las necesidades de trabajo. Todos los nombres específicos se han actualizado, teniendo en cuenta las sinonimias del grupo, y se han convertido a la nomenclatura estándar manejada por el Servicio de Biodiversidad y las bases de datos internacionales que contienen datos oficiales. Esta estandarización consiste en la utilización de las tres primera letras del nombre del genero y las tres primera letras del nombre de la especie.

En un primer análisis se apreció que algunos datos estaban repetidos. Se asumió, debido a la identidad de datos básicos como la fecha o los observadores, que se trataba de registros que habían sido duplicados durante las diversas actualizaciones de la base de datos. La primera solución que se planteó fue la de utilizar el entorno de programación R (R Core Team, 2014) para eliminar estos registros duplicados mediante el comando "*Unique*" aunque no tuvo el resultado deseado y dejaba datos sin eliminar o eliminaba campos importantes vacíos en registros que eran únicos, posiblemente por el contexto tanto numérico como textual de cada registro. Finalmente se tomó la decisión de eliminar los datos de manera manual. Se usaron los filtros existentes en Microsoft Excel para aislar los registros por años y especies, comprobando la coincidencia de fecha y coordenadas, y actualizando las tablas.

Se procedió a la elaboración de tablas relacionales que permitieron asociar las cuadrículas (que se disponen a modo de columna) con las especies (que se sitúan en la primera fila) para obtener el número de veces que se ha encontrado una especie en una cuadrícula concreta. Este valor es el **esfuerzo**, que se define como el número absoluto de veces que se ha visitado una cuadrícula. De forma similar, la **productividad** se define como el porcentaje de presencia de cada una de las especies en esa cuadrícula, respecto al total de especies de la subclase taxonómica. Estos son valores que se utilizarán como indicadores del estado

actual de la distribución de anfibios y reptiles en Aragón y medida esencial en la planificación de futuros trabajos que pretendan conocer la diversidad herpetológica en la CC.AA. de Aragón, tanto espacialmente como en la utilización de los recursos.

	A	B	C	D	E	F	G
	Esfuerzo	Productividad	Cuadrícula	Acanthodactylus erythrurus	Alytes obstetricans	Anguis fragilis	Blanus cinereus
1							
2	1	1	30TWK07	0	0	0	0
3	8	1	30TWL67	0	1	0	0
4	8	1	30TWL75	0	0	0	0
5	11	1.833333333	30TWL76	0	0	0	0
6	6	2	30TWL77	0	0	0	0
7	8	2	30TWL78	0	0	0	0
8	3	1	30TWL85	0	1	0	0
9	1	1	30TWL86	0	0	0	0
10	4	2	30TWL87	0	0	2	0
11	13	1.3	30TWL88	0	1	0	0
12	9	1	30TWL89	0	0	0	0
13	26	2.6	30TWL95	0	0	0	0
14	5	1.25	30TWL96	0	0	0	0
15	3	1.5	30TWL97	0	0	0	0
16	31	2.384615385	30TWL98	0	3	0	0
17	21	4.2	30TWL99	0	0	0	0
18	1	1	30TWM02	0	0	1	0
19	8	1	30TWM80	0	1	0	0
20	5	1.666666667	30TWM90	0	0	0	0
21	18	1.125	30TWM91	0	2	1	0
22	94	4.086956522	30TWM92	0	4	8	0
23	53	2.409090909	30TWM93	0	2	2	0
24	52	3.058823529	30TWM94	0	2	0	0
25	17	1	30TWM95	0	1	0	0
26	1	1	30TXK04	0	0	0	0
27	21	1.4	30TXK06	0	1	0	0
28	23	1.769230769	30TXK07	0	2	0	0
29	8	1	30TXK08	0	1	0	0
30	8	1	30TXK15	0	1	0	0
31	96	8	30TXK16	0	14	0	0
32	39	3	30TXK17	0	5	0	0
33	116	9.666666667	30TXK18	0	10	0	0
34	12	1	30TXK19	0	1	0	0
35	29	3.625	30TXK25	0	5	0	0
36	32	2.666666667	30TXK26	0	3	0	0
37	41	4.1	30TXK27	0	0	0	0
38	31	2.583333333	30TXK28	0	3	0	0
39	22	2.2	30TXK29	0	0	0	0
40	10	1.111111111	30TXK34	0	1	0	0
41	38	3.8	30TXK35	0	4	0	0

Figura 4.2 Tabla relacional en Excel. En este ya se ha calculado el esfuerzo y la productividad

Para proceder a la representación cartográfica de la base de datos de los registros de anfibios y reptiles, se utilizaron las mallas UTM de 10 x 10 km. y de 1 x 1 km., obtenidas desde el Instituto Geográfico Nacional (IGN). El propósito de su utilización es la unión de los datos que residen en la base de datos, y que indican el nombre único de cada cuadrícula de la malla. Es pues necesario unir estas denominación con cada una de las cuadrículas de las mallas, para obtener la posición espacial del registro y permitir su representación cartográfica. Mediante el software ArcGIS (versiones entre 9.3 y 10.2) se calculó el centroide de cada una de las cuadrículas UTM, tanto de 10 km. como de 1 km. de resolución. Posteriormente, se asociaron los datos almacenados en la hoja de Excel (especies) con las cuadrículas, mediante la utilidad "Join and Relates" la cual permite asociar una cuadrícula en la tabla de atributos de una capa a otra de igual nombre y con los mismos registros. En suma, se disponía así de la información completa de la distribución geográfica de cada especie, asociada a los datos relativos a cada fecha de captura y a las cuadrículas de referencia.

Una vez que todos los datos estaban almacenados en un formato cartográfico, se procedió a decidir los porcentajes de corte para cada una de las clases de esfuerzo y productividad con fines de representación gráfica.

3. Modelado del hábitat.

Este apartado del estudio tiene como finalidad la obtención de modelos predictivos que permitan proyectar un modelo entrenado con los registros reales de una especie en el espacio geográfico, a partir de una serie de variables que expliquen su distribución. La metodología seguida se ha basado en estudios previos de alcance similar (Philips y Dudík, 2008).

El concepto de nicho ecológico indica que las especies se distribuyen siguiendo los parámetros de clima que les permiten una supervivencia adecuada, que implique la persistencia de poblaciones de la especie. Esos parámetros climáticos se han llamado comúnmente el nicho abiótico, un concepto que ha sido ampliamente discutido por Soberón y Nakamura (2009). En otras palabras, cada especie tiene unas preferencias hacia diferentes (y críticas) combinaciones de diferentes variables climáticas, y sus poblaciones se extenderán por zonas que presenten tales combinaciones dentro del óptimo para la especie. Tal especie podrá extenderse sobre la superficie siempre y cuando los puntos en los que exista estén comunicados geográficamente. Estos procedimientos recién el nombre genérico de "modelado correlativo" acerca del cual existe una amplia literatura así como diversos paquetes estadísticos para su cálculo.

Además de los nuevos conocimientos acerca de la forma en la que las especies ocupan este nicho y cómo las diferentes combinaciones de las mismas pueden influir en su respuesta al cambio climático, se han producido importantes avances, tanto en la concepción del nicho como una unidad ecológica (Peterson, 2011) como en la producción de variables climáticas que sean capaces de explicar tal nicho. Uno de tales avances ha sido la preparación de diversos datos ecoclimáticos interpolados que cubren la superficie del planeta, y que se conocen con el nombre de WorldClim (Hijmans et al., 2004). Estos productos nacieron de diversos estudios llevados a cabo en Australia que desarrollaron un software capaz de realizar interpolaciones espaciales mediante el método conocido como "splines". Aunque los productos originales australianos tienen más de 50 variables, los datos de WorldClim se reducen a 12 variables mensuales de temperatura y de precipitación, que se interpolan con ayuda de datos de elevación. Un producto derivado de este es "Climond", el cual incluye además datos de vapor de agua en el aire, así como déficit de saturación y una clasificación de aridez (Kriticos et al., 2012).

Aunque se trata de productos orientados a la percepción del clima y de su variabilidad, se trata de datos ampliamente usados para la elaboración de modelos de idoneidad climática (o de similitud climática) utilizando datos de presencia y ausencia o, más comúnmente, de presencia y pseudo-ausencia, de diversas especies. Aunque los segundos tienen una capacidad superior para predecir la hipotética distribución de una especie, es normalmente difícil encontrar (o preparar) datos de ausencias auténticas de una especie, ya que normalmente no se reportan (Guisan y Thuiller, 2005). Es por ello que han ganado popularidad aquellos paquetes de software basados en el uso de las pseudo-ausencias, incluso aunque violen algunas de las suposiciones tácitas de la ecología de la especie (Merow et al., 2013).

En este sentido, es destacable la aplicación del concepto de entropía máxima a la distribución de las especies (Philips et al., 2004). En esta aproximación, las citas de una especie se utilizan para trazar las preferencias de la misma, las cuales se proyectan en el espacio geográfico para obtener un ajuste de la similitud climático en función de los cambios en una medición de la entropía que produce en el sistema completa la eliminación o adición de una variable alternativa (Philips y Dudik, 2008). La idoneidad del moldeo producido por estos métodos se mide por el parámetro de "área bajo la curva" (AUC) que elabora un cálculo de los falsos negativos y los falsos positivos para producir una estimación de las ventajas del modelo sobre el puro azar. El uso de AUC ha recibido diversas críticas (por ejemplo, Lobo y col., 2008) y se sabe que sus valores dependen de la extensión del fondo geográfico y no solamente de los valores reales de la predicción pero, por el momento, no existe una mejor evaluación de la idoneidad de un modelo que esté basado exclusivamente en presencias y pseudo-ausencias. Puede encontrarse una serie de recomendaciones para el uso de la entropía máxima y de sus limitaciones en diversas publicaciones de Merow y col. (2013), así como la superior capacidad producida por los modelos basados en auténticas presencia y ausencias (Thuiller y col., 2009).

Este estudio no pretende proyectar la distribución de todas las especies de reptiles y anfibios existentes en la base de datos inicial, bien por problemas de baja representación de algunas de las especies, bien porque la mayor parte de los datos a la resolución de 1 km. son relativamente modernos. Por ello, se han seleccionado seis especies (tres de reptiles y tres de anfibios) que tienen un hábitat distinto y cuyo modelado servirá para comprobar la calidad de los modelos y la idoneidad de la metodología.

Las especies seleccionadas son las siguientes:

- *Acanthodactylus erythrurus* (Schinz, 1833)

- *Bufo calamita* (Laurenti, 1768)
- *Bufo spinosus* Daudin, 1803
- *Calotriton asper* (Dugès, 1852)
- *Malpolon monspessulanus* (Hermann, 1804)
- *Natrix maura* (Linnaeus, 1758)
- *Pelobates cultripes* (Cuvier, 1829)
- *Pelophylax perezii* (Seoane, 1885)
- *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768)
- *Timon lepidus* (Daudin, 1802)

Nuestra aproximación consiste en relacionar los registros con variables de clima, ignorando otros datos como la vegetación, los puntos de agua en alta resolución, la fragmentación del hábitat o variables puramente físicas (como la elevación) que no permiten definir adecuadamente la relación entre los organismos y el ambiente que modula su distribución. Como hemos mencionado anteriormente, en los últimos años se ha hecho popular el uso de variables climáticas interpoladas que proporcionan una información mensual promediada de la temperatura y la precipitación. Los autores de esa base de datos climáticos, también proporcionan información acerca de cómo derivar las llamadas “variables bioclimáticas” que constituyen un compendio de la información mensual (Hijmans y col., 2004) y que se suelen denominar genéricamente “Bioclim”. Por ejemplo, datos como “temperatura mínima en el mes más húmedo” pueden ser obtenidos a partir de los datos mensuales y, en muchos casos, proporcionan una información con mayor contenido ecológico.

La mayor resolución de Bioclim es de 1 km., por lo que se decidió computar las variables que constituyen el paquete de datos Bioclim a partir del “Atlas climático de Aragón” que contiene datos de clima hasta el año 2009 a una escala de 100 metros de resolución. El entorno de programación R dispone de un paquete llamado “Dismo” (Hijmans y col., 2013) que permite calcular las variables Bioclim de manera automática a partir de archivos de formato “ráster” con datos de temperatura y precipitación. Nos apoyamos así en este paquete para obtener las mismas variables bioclimáticas accesibles en Wordclim, pero a la resolución original de 100 metros por pixel.

Cada una de las variables de Bioclim se crean de una manera determinada, como sigue:

- BIO1 = Media de la temperatura anual.
- BIO2 = Media del rango diario (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
- BIO3 = Isotermalidad $((\text{BIO2}/\text{BIO7}) * 100)$
- BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (derivación estándar *100)
- BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido
- BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío
- BIO7 = Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)
- BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo
- BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco
- BIO10 = Temperatura media del mes más cálido
- BIO11 = Temperatura media del mes más frío
- BIO12 = Precipitación media anual
- BIO13 = Precipitación del mes más húmedo
- BIO14 = Precipitación del mes más seco
- BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
- BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo
- BIO17 = Precipitación del trimestre más seco
- BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido
- BIO19 = Precipitación del trimestre mas frío

Un problema reconocido en la proyección geográfica de nichos ambientales de especies es la colinearidad entre las variables, que puede ser mayor en datos interpolados espacialmente (Legendre, 1993). Este hecho meramente estadístico condiciona la fiabilidad de los modelos, porque infla los resultados debido a la correlación espacial entre las variables. Además, el investigador no puede apreciar este error basándose solamente en los resultados del modelo. Una forma de evitar el problema es comprobar la correlación entre variables antes de su incorporación al modelo, que se desarrolla con aquellas variables no

correlacionadas y que tienen interés ecológico para las especies a modelar (REF) De esta forma, se calculó la correlación que existe entre las variables anteriores usando el entorno de programación R para saber cuales son las más representativas para definir el nicho ecológico de cada especie y que no presenten problemas internos de correlación. Los resultados de estos cálculos y consideraciones nos indicaron la necesidad de utilizar cinco variables: BIO5, BIO7, BIO9, BIO12 y BIO15.

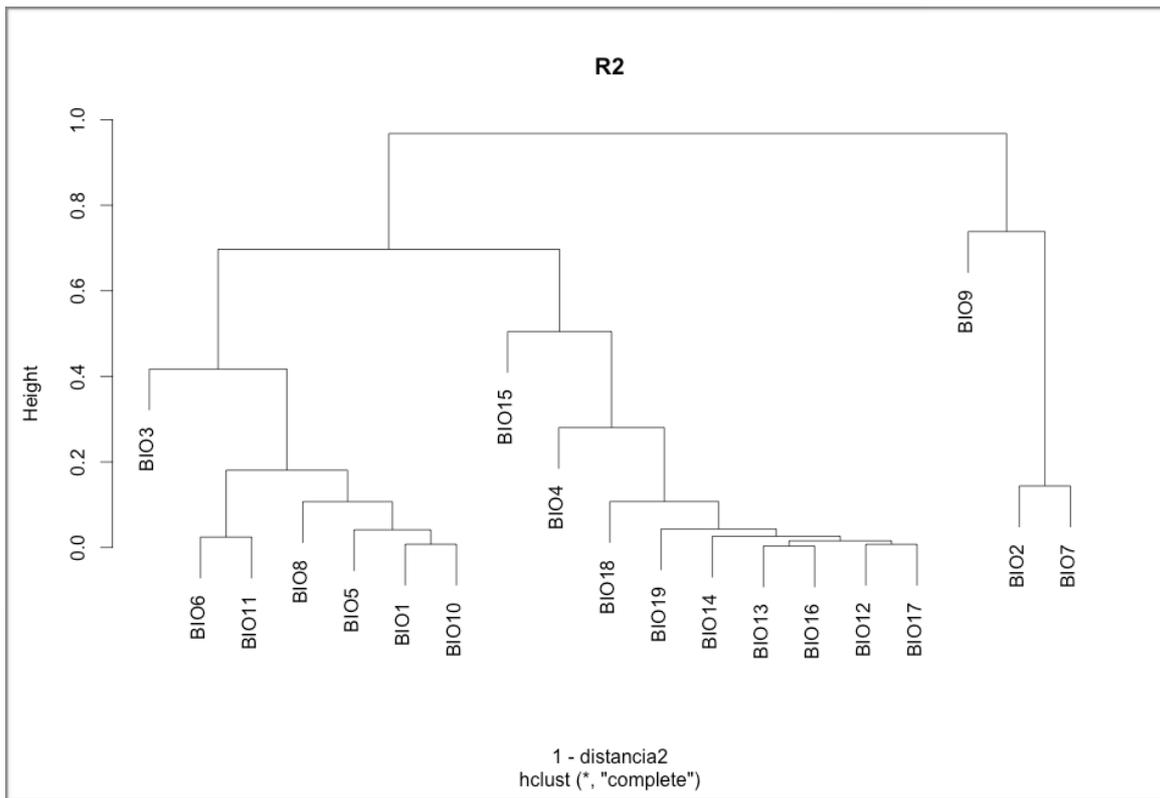


Figura 4.3 Dendrograma basado en el cálculo de la colinearidad de las variables

Se decidió usar un tipo de modelado basado en pseudo-ausencias, debido a que es difícil evaluar la ausencia real de una especie determinada al basarnos en listas recopiladas durante varios años a partir de las observaciones de una multitud de naturalistas probablemente con diferentes criterios. Hemos usado un paquete de software llamado Maxent (Phillips et al., 2003) que se basa en el criterio de máxima entropía para modelar la distribución de una especie, utilizando las coordenadas de captura y los datos de las variables Bioclim que se asocian a tales coordenadas. Siguiendo las recomendaciones habituales (Merow et al., 2013) se programó el software para que realizara 10 modelos de cada especie, utilizando replicados por subsample, y un grupo de random test del 25%.

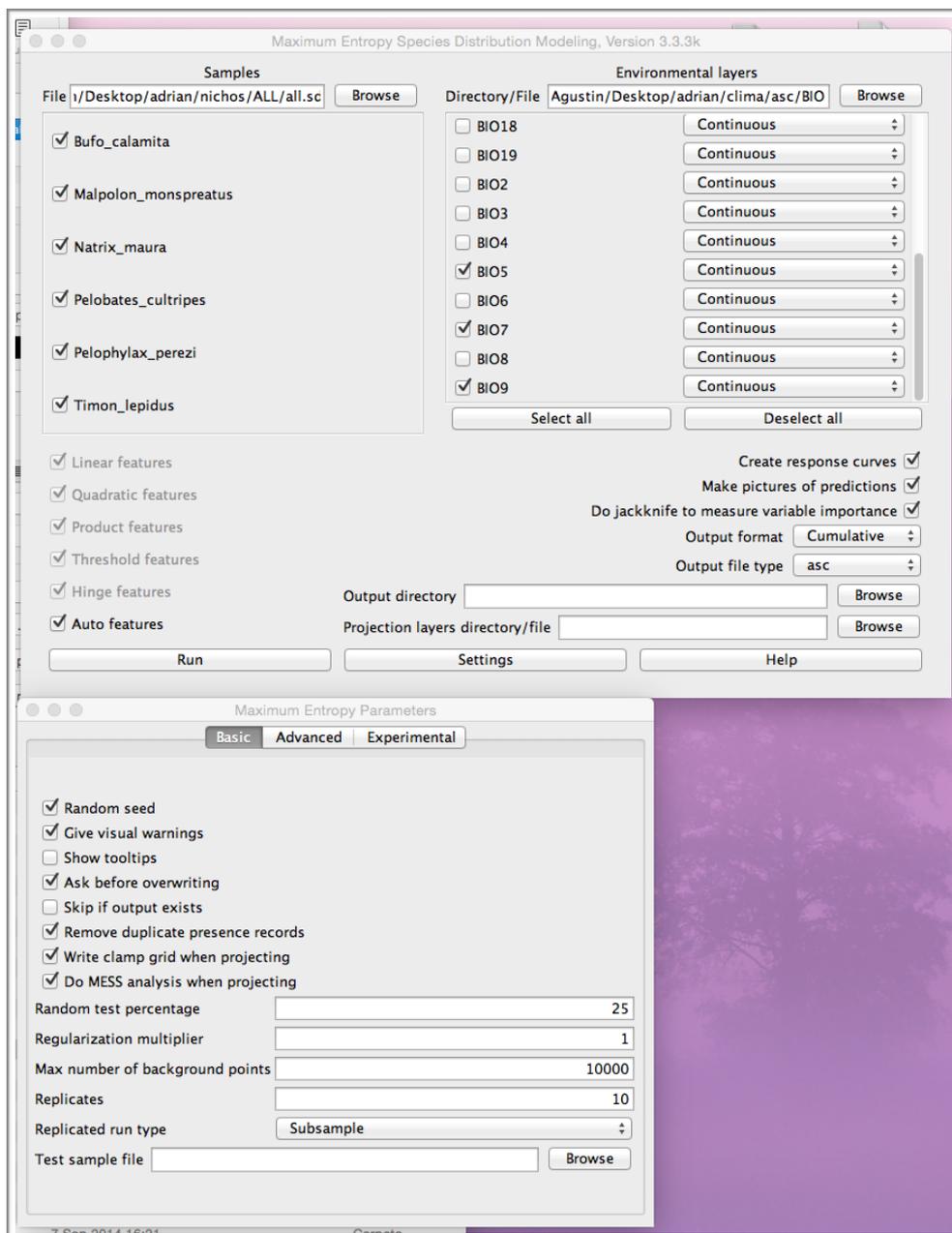


Figura 4.4 Ventana de Maxent con los ajustes deseados

Los criterios para evaluar la bondad de ajuste del modelo se basaron en los valores de AUC. Este es un parámetro que evalúa los falsos positivos y falsos negativos (aunque se trabaja con pseudo-ausencias) y construye una tabla de sensibilidad y especificidad (Swets, 1973). Un modelo que produzca resultados totalmente al azar, produce un área bajo la curva (AUC) del 0.5. Todos los modelos con AUC superior a ese valor, mejoran el puro azar de la distribución. Se considera que un modelo es adecuado partir de valores de AUC entre 0.7 y 0.8. Sin embargo, el método ha recibido abundantes críticas (Lobo et al., 2008) aunque se reconoce que no existen todavía métodos alternativos simples. Además de la obtención de AUC como una interpretación de la calidad de cada modelo, se procedió a evaluar la importancia de cada una de las variables implicadas en su desarrollo. Para ello, se realizaron múltiples modelos de la misma especie, en

los que se eliminaba cada una de las variables descriptivas y se comprobaba el cambio en la AUC del modelo resultante. El porcentaje de cambio de AUC al eliminar esa variable, es una estimación de la importancia de la misma en el entrenamiento del modelo (Merow et al., 2013). Esto se conoce como análisis “jackknife”.

4. Desarrollo de un visor Web cartográfico de la distribución de anfibios y reptiles.

Uno de los objetivos más novedosos de este proyecto ha sido la realización de un visor web que permita llamar a los datos de distribución de cada especie y los muestre en la cuadrícula del terreno. Este visor puede manejar diferentes capas de información superpuestas que permiten la visualización conjunta de los meros datos de distribución junto con la descripción ecológica del medio. Dicho visor se ha desarrollado utilizando la biblioteca de código abierto Open Layers (REF) que permite que cualquier navegador de Internet muestre mapas interactivos.

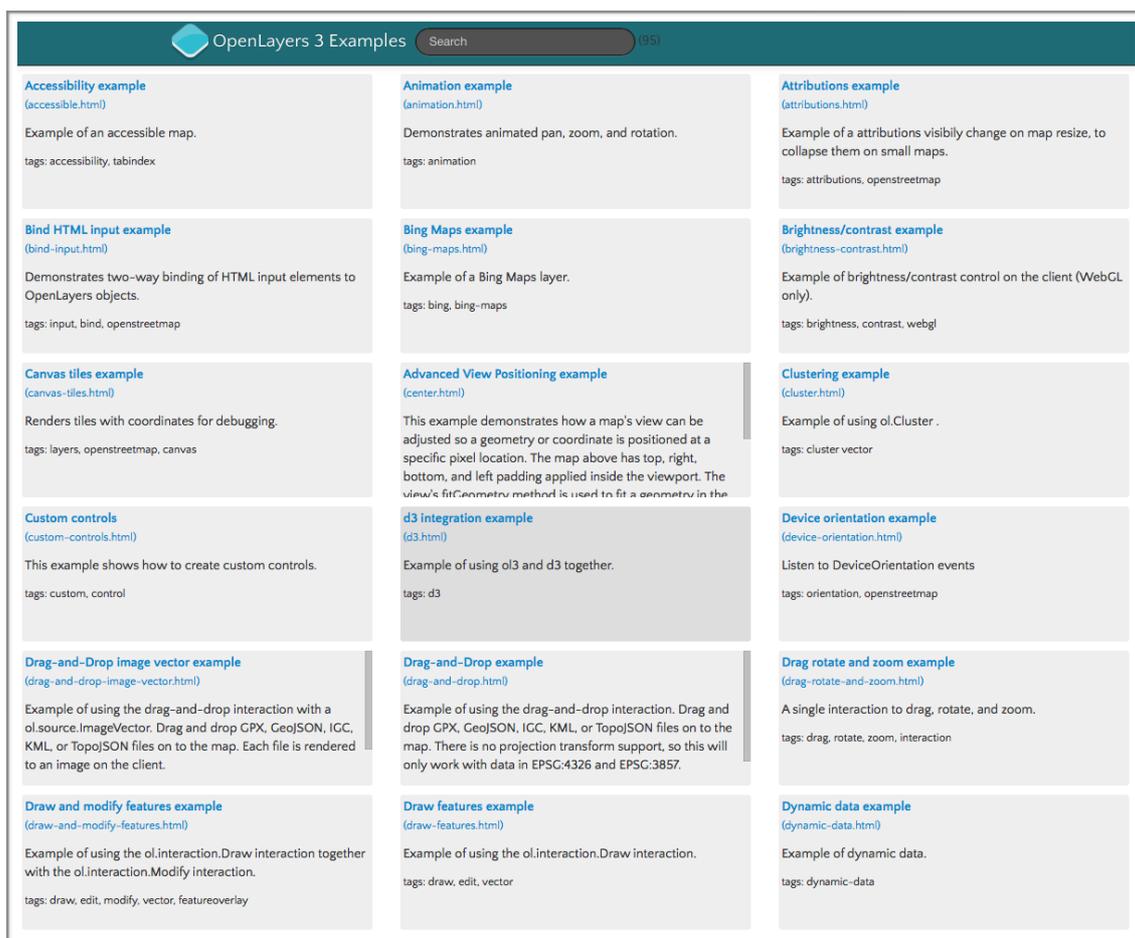


Figura 4.5 OpenLayers ofrece en su web una gran cantidad de ejemplos para incorporar al visor

Hemos escrito el script que proporciona dichas capacidades en el lenguaje JavaScript, el cual incorpora las capas que deseamos visualizar y añade otras que sirven a modo de “capas base” en las que se podría incluir otro tipo de información geográfica, como los límites administrativos, la red fluvial, etc. Para proporcionar una mejor experiencia de usuario, se decidió que las especies se mostraran sobre las cuadrículas UTM a una resolución de 10 x 10 km. El visor cartográfico se acompaña de otros datos en la misma página web, que incluyen una imagen de la especie para ayudar a su identificación, la leyenda del esfuerzo y productividad de la especie, y unos histogramas que indican los rangos de las variables Bioclim bajo los que la especie ha sido detectada. En el desarrollo del visor se incluyeron las instrucciones necesarias para mostrar las coordenadas por las que se desplaza el cursor en el visor, junto con las acciones de aumento o disminución de la resolución del mapa. Diversos controles secundarios, incluidos en el script, permiten añadir o quitar capas de información.

Las capas de la distribución de las especies se cargaron mediante el sistema de archivo WMS que se encuentra alojado en las dependencias del servicio IDEAragon (<http://idearagon.aragon.es>). En estos momentos, el visor y su información es de acceso libre pero aún no está incluido en las páginas públicas del servicio cartográfico de la Diputación General de Aragón.

Resultados

1. Esfuerzo y Productividad general.

La elaboración de cartografía que muestra los conceptos de esfuerzo y productividad permite disponer de varios indicadores del estado actual de la distribución de anfibios y reptiles en Aragón, además de constituir un elemento esencial en la planificación de futuros trabajos que planteen muestreos para completar la distribución de este grupo faunístico en esta Comunidad. Todos los mapas relativos a estos resultados se incluyen en el anexo 1. Tanto los datos de esfuerzo como de productividad cuentan con una amplia cobertura de datos de muestreo sobre el territorio de Aragón, para todas las especies estudiadas. Apenas quedan zonas vacías que todavía no se hayan visitado. Esto constituye un importante punto de partida a la hora de homogeneizar la base de datos y conseguir una lista de especímenes más completa de cara a la realización de un atlas de distribución que contenga un muestreo completo del territorio de la Comunidad.

La homogeneización de bases de datos procedentes de diversos organismos, la actualización de registros y la adición de algunas observaciones anteriores, ha permitido contar con registros de anfibios y reptiles prácticamente para todo el territorio de Aragón. Aun así existen zonas que, aunque visitadas, tienen un número escaso de individuos identificados; un ejemplo de ello es la zona oriental de la provincia de Huesca, con menos de 15 visitas desde el inicio de la recogida de datos. Algo similar sucede en el centro de la provincia de Teruel.

En esta línea, las actualizaciones de este trabajo de fin de master sobre las diferentes bases de datos, han incrementado de forma considerable el número de cuadrículas visitadas y por tanto de datos disponibles (más de 21.000 registros individuales), además de una cobertura casi total de la provincia. Es importante resaltar el hecho de que casi todo el territorio aragonés está completado con al menos una visita por cuadrícula.

Las cuadrículas pertenecientes al territorio de la provincia de Zaragoza ya habían sido adecuadamente visitadas, tal y como se desprendía de nuestro estudio anterior. Las mencionadas actualizaciones han contribuido a destacar diferencias entre algunas cuadrículas (410 registros en la más visitada, frente a 1 solo en la que menos visitas ha recibido).

2. Esfuerzo y Productividad por especies.

Estos mismos indicadores globales se han utilizado para algunas de las especies del catálogo manejado. Los comentarios que se mencionan a continuación se basan en los mapas de distribución que se anexan a este proyecto, con la correspondiente leyenda.

2.1. Sapo corredor (*Bufo calamita*)

Aunque el número de registros totales del sapo corredor (*Bufo calamita*) confirmados por cuadrícula ha disminuido en el conjunto del territorio estudiado, los nuevos datos han contribuido a completar la distribución conocida de la especie. Por ejemplo, se dispone ya de una información apropiada para prácticamente toda la provincia de Teruel, en la que todas las cuadrículas tienen, al menos, 5 visitas. Esto no es así para la provincia de Huesca, en la que todavía persisten ciertas zonas sin un muestreo adecuado. Se desconoce si esto es debido a la ausencia de visitas esas cuadrículas, o a que, en realidad, las zonas no son propicias para la presencia de las especies de anfibios y reptiles, por su clima. También se han registrado cambios importantes en la productividad, en comparación con nuestros resultados obtenidos anteriormente (si no se detecta al menos una especie, la ficha de "visita" no se formaliza). De esta forma, la productividad sigue siendo alta en zonas próximas a la ciudad de Zaragoza, por razones obvias de cercanía a un gran núcleo urbano.

2.2. Culebra viperina (*Natrix maura*)

Esta especie muestra una distribución muy homogénea por todo el territorio aragonés con una notable acumulación de registros en el entorno zaragozano y las Cinco Villas, además del Moncayo y norte de Huesca capital. Se puede apreciar su ausencia en algunas zonas próximas al río Ebro. La productividad de esta especie es bastante elevada, lo que nos indica que la culebra viperina es uno de los reptiles que más presencia tiene en Aragón.

2.3. Culebra bastarda (*Malpolon monspesulanuss*)

La culebra bastarda tiene una distribución muy homogénea por todo Aragón, destaca una amplia distribución a lo largo de la valle del Ebro. En la comarca de Cinco Villas y la zona del pre-Pirineo se aprecian algunas concentraciones de registros importantes (no más de 10). Destaca también la zona de Monegros en la que, a pesar de que se aprecian esfuerzos relativamente bajos, la especie presenta una cobertura adecuada.

2.4. Sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*)

Nuestros datos previos acerca de su distribución, indicaban su concentración en el entorno de la capital aragonesa, descendiendo por los valles de los ríos Ebro y Huerva, con un modesto número de registros en la provincia de Teruel. Los nuevos datos completados a fecha de 2014 muestran que este se extiende por la zona del bajo Ebro así como por la Ibérica turolense. La productividad no es demasiado alta para esta especie por lo que podemos asegurar que no tiene un peso importante con respecto a los anfibios en Aragón.

2.5. Rana común (*Perophilax perezii*)

Se pueden expresar comentarios similares con respecto a la distribución de la rana común, que se mostraba amplia en todo el territorio de la Comunidad según los datos que recopilamos para el proyecto anterior. Los nuevos datos han proporcionado una mayor área de distribución de esta especie y su ocupación del territorio es prácticamente total. Los mapas que se han elaborado acerca de la productividad de esta especie muestran tonos oscuros en gran parte del territorio estudiado, por lo que se deduce que es una especie con una importancia relativa mayor que las demás especies estudiadas. Hay algunas cuadrículas en las que el número de registros llega casi hasta los 50.

2.6. Lagarto ocelado (*Timon lepidus*)

El lagarto celado muestra una de las distribuciones más amplias de las especies de reptiles. Esto se puede comprobar mediante los datos de productividad que la enmarcan como una de las especies de reptiles con más importancia de Aragón. Su distribución ocupa la mayor parte de las cuadrículas visitadas con visitas que alcanzan casi los 30 registros.

3. Visor web de información.

La construcción de un visor web basado en OpenLayers simplifica notablemente el proceso de compartir la información obtenida, proponiendo una interfaz sencilla para mostrar información biológica compleja. El visor que hemos construido pretende incluir todas las especies de reptiles y anfibios de la Comunidad de Aragón, y hacerse público junto a diversos datos de biodiversidad actualmente albergados por el CINTA.

El visor resume los datos y los presenta de una forma coherente. Este visor incluye los datos de esfuerzo y productividad para cada especie, junto con la referencia de las cuadrículas UTM 10 x 10 y la capa completa de información de las zonas urbanas y de los municipios de la Comunidad. Este visor es autoescalable en el sentido en que se pueden colocar otras capas de información, como imágenes de satélite o el estado general de la vegetación. Es posible incluso colocar datos

sobre temperatura o precipitación los cuales pueden ser o bien obtenidos a partir de otros servidores, o bien actualizados a partir de observaciones regionales o nacionales.

El visor incluye otros detalles, como la posibilidad de obtener las coordenadas geográficas al desplazar el ratón sobre las diferentes zonas y capas, así como una escala que cambia conforme se cambia la resolución. La información geográfica básica se complementa con la leyenda necesaria y una breve información morfológica de cada especie.

En próximas versiones se pretende incluir gráficas que proporcionen información acerca de los rangos de las variables abióticas que se pueden extrapolar a partir del área de colonización de cada especie. Esta gráficas proporcionarán una información de índole biológica, que está pensada para complementar los datos geográficos anteriores.

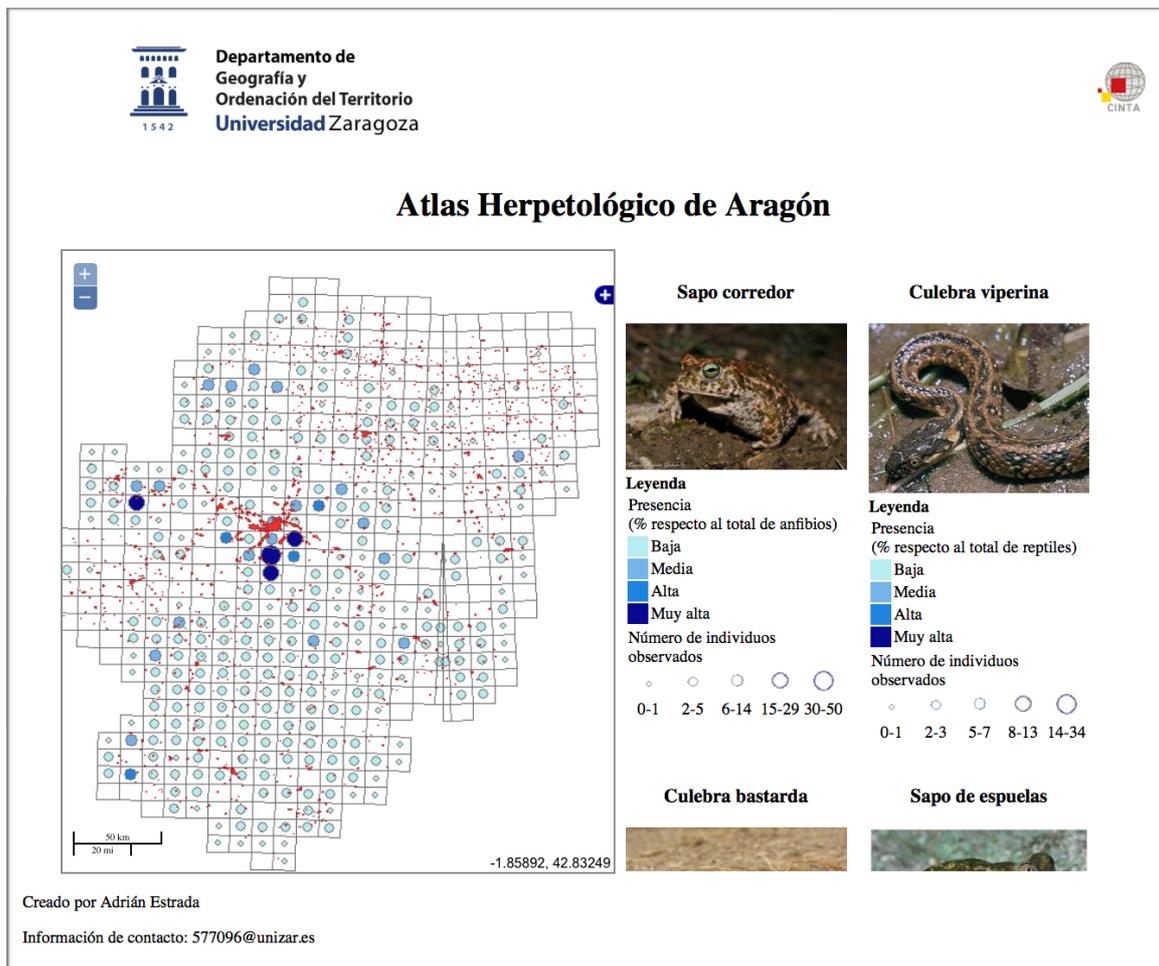


Figura 5.1 Imagen del visor en funcionamiento

4. Resultados de los modelos de distribución basados en el nicho abiótico.

El objetivo de los modelos de distribución es producir una serie de superficies de probabilidad relativas a la idoneidad climática del territorio para la especie tratada. Estos modelos se basan en dos conceptos básicos: el número de registros reales y la elección, por parte del investigador, de las variables abióticas que *a priori* pueden definir el hábitat. Nuestra intención no es la producción completa de mapas de distribución, que se basan en un conocimiento parcial de la distribución registrada de la especie, sino observar las variables climáticas más restrictivas en la distribución observada, a la vez que proporcionar una información acerca de los lugares en los que la especie podría estar presente, pero no ha sido registrada todavía, con objeto de orientar las visitas a las cuadrículas en las que la información real no coincide con la prevista.

En nuestro estudio hemos construido cinco variables a una resolución espacial de 100 metros, obtenidas entre 1960 y 2009. Por un lado, se ha procedido a eliminar aquella información climática redundante mediante el cálculo de las variables que se encuentran auto-correlacionadas. Por otro, se han elegido aquellas variables que, según los conocimientos de la biología de cada especie, podrían proporcionar una mejor información. Finalmente, se han hecho pruebas por separado para comprobar las combinaciones de variables que proporcionan mejores ajustes.

Todos los modelos obtenidos han arrojado valores de AUC entre altos y muy altos (0.7 y 0.95), lo que significa que, dentro de las limitaciones de información, son modelos adecuados para explicar la distribución de cada una de las especies. Los peores modelos se han obtenido para las especies que tienen una distribución más amplia. Este resultado puede parecer paradójico, pero es debido a un defecto conocido de la estimación de AUC, la cual se realiza como una función de la distribución conocida de la especie en relación al área geográfica total utilizada (Merow et al., 2013). La respuesta de las especies a las variables climáticas no es siempre unimodal, un elemento que suele ser considerado de importancia en la aplicación de este tipo de metodologías. Este hecho puede ser debido bien al insuficiente muestreo de alguna de las especies (y por ello “faltan” algunos registros que deberían “llenar” el volumen abiótico intermedio), bien porque las variables seleccionadas no permiten una respuesta correcta en el desarrollo de los modelos. Por ejemplo, BIO9 es la temperatura máxima del trimestre más seco y es la variable que presenta una menor uniformidad en la respuesta de las especies, con una obvia separación de lo que debería ser una distribución normal de respuestas. Ello es debido, en este caso concreto, a que el trimestre más seco puede variar en un territorio amplio y con una gran gradación climática. Por ello, el cálculo de la propia variable se ve afectado por posibles defectos de forma.

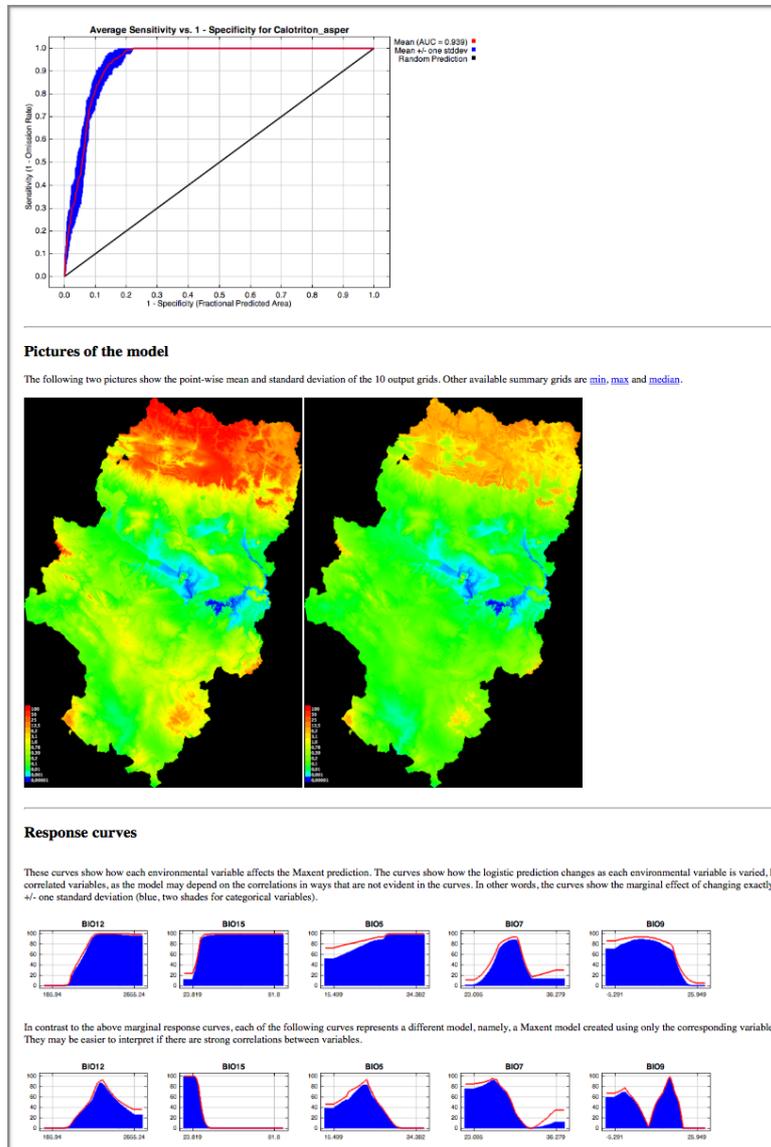


Figura 5.2 Ejemplo que produce Maxent para mostrar resultados

Estas conclusiones se ven apoyadas por el hecho de que todos los modelos indican la importancia de estas variables, en diferentes combinaciones, para cada una de las especies modeladas, como se observa en las Figuras del anexo correspondiente a la especie.

Acanthodactylus erythrurus es un especie restringida al norte de la cuenca del río Ebro, y que ve limitada su distribución septentrional por las estribaciones del Somontano. Es una de las especies que ha mostrado una mejor respuesta unimodal a las variables climáticas, quizás por la homogeneidad ecológica de su

distribución. *Pelobates cultripes* presenta una distribución similar pero más amplia, restringida a la cuenca del río Ebro y con amplias zonas de distribución al norte y al sur del eje central. Para las dos especies anteriores, las variables BIO5, BIO7 y BIO12 tienen la máxima influencia en la estimación de su distribución.

Dos especies, *C. asper* y *P. muralis* tienen una distribución netamente montañosa y restringida a la zona Pirenaica. Por los motivos mencionados anteriormente, estas son las especies que han arrojado un mejor ajuste en los modelos de distribución. Los datos procedentes del análisis "jackknife" de las variables abióticas indican que tanto la precipitación media anual como la temperatura máxima del mes más cálido son los principales factores que limitan su distribución. Estos resultados son compatibles con las observaciones, registros de las especies y conocimiento de la biología de los taxones referidos. Su biología parece verse afectada por temperaturas muy cálidas o por una precipitación decididamente escasa. Los resultados de los modelos muestran que ambas especies encuentran su óptimo biológico alrededor de valores de precipitación de unos 1500 litros al año, y bajo temperaturas máximas de alrededor de 22°C.

Las dos últimas especies, *B. spinosus* y *N. maura* tienen una distribución que abarca una gran área del territorio considerado. Por ello han producido los peores resultados de distribución productiva y la mayor variabilidad en las estimaciones a partir de las diferentes repeticiones de cada modelo. Ninguna de las dos especies muestra una respuesta unimodal a las variables climáticas utilizadas, las cuales, además, no parecen provocar limitaciones en su distribución. Los modelos para estas dos especies pueden dar una idea de su amplia distribución, en comparación con los datos reales de registros, pero no parecen proporcionar información suficiente para explicar la misma.

Discusión

Existe una falta de unificación para las diversas bases de datos que describen la distribución de especies animales y vegetales, a nivel mundial. Tal falta de criterios ha propiciado la dispersión de citas, la falta de comparación entre las mismas y la falta de proyectos integrados que muestren medidas adecuadas de biodiversidad y abundancia de los seres vivos. Este proyecto se concentró en los reptiles y anfibios de Aragón y comenzó con la fusión de varias bases de datos, cada una con un formato propio y orden distinto. Aún a pesar de la existencia de varias iniciativas para la unificación de la forma de bases de datos para todo el territorio europeo, las más antiguas se crearon antes de la entrada en vigor de estas iniciativas, por lo que fue necesario un trabajo individual (registro por registro) con el fin de unificar la información.

La homogeneización que se ha llevado a cabo en las diferentes bases de datos originales ha consistido, en primer lugar, en la homogeneización del nombre de cada especie y su incorporación a la nomenclatura estándar de seis letras. Esta nomenclatura se utiliza para denominar de manera abreviada a todas las especies. La forma es la de coger las tres primeras letras de cada una de las partes del nombre científico. Así, por ejemplo, la especie *Bufo calamita* pasa a denominarse *bufcal* o la especie *Pelobates cultripes* pasa a llamarse *pelcul*. De esta manera se consigue la unificación de las diferentes nomenclaturas que se utilizan para la distribución de especies de una manera sencilla y abreviada. De la misma forma, cada registro ha quedado referenciado tanto a la cuadrícula UTM de resolución 10 x 10 km, como a la de 1 x 1 km., en caso de que esta información (de incorporación reciente) constara en los datos originales. Esta labor ha conseguido referenciar en el territorio aragonés más de 21.000 registros individuales que, de otra forma, carecían de la información digital necesaria.

Tal información no es necesaria y únicamente formal, es decir, no se trata tan solo de localizar la posición de un individuo en un mapa, sino que permite cuantificar la abundancia de cada especie, comparar la distribución relativa de cada grupo de anfibios y reptiles y cuantificar la biodiversidad en función del ecosistema dominante. En suma, la georeferenciación de esta base de datos abre las puertas a futuros estudios biogeográficos, que tienen como marco un importante grupo de vertebrados.

Hemos desarrollado varios ejemplos con 10 especies representativas acerca de cómo representar la información obtenida de una forma coherente, cómoda y agrupada en un único documento. Tales mapas, que se pretenden desarrollar para todas las especies del grupo, contienen información importante acerca de la

distribución y la riqueza de las especies. De mayor interés es la posibilidad de comprobar los territorios que han sido menos visitados, para optimizar los estudios de estos vertebrados y completar de una forma lógica el atlas de la distribución en el territorio de Aragón.

Sin embargo, el desarrollo más novedoso de este proyecto es la preparación, programación y puesta en marcha de un visor que ejecuta OpenLayers y permite la consulta de los datos mencionados anteriormente a través de Internet. La consulta de la información no queda así restringida al puro formato físico del papel, sino que puede ser consultada remotamente y permite comparar la herpetofauna local con la de otros territorios. Mediante la incorporación de una serie de datos vinculados a la especie se intenta que, en una única "hoja", se pueda comprender dónde y en qué cantidad podemos encontrar individuos de la especie solicitada. El visor incorpora además una información sobre la presencia de la localización de la especie hasta una fecha determinada, lo que contribuye a conocer cómo se han acumulado las citas de la especie en diferentes periodos de tiempo. Esto explota la representación visual de la evolución temporal de los registros de la especie y el modo en el que los voluntarios han explorado el territorio. En la parte inferior de cada mapa (o página del visor) se incorpora de manera visual una serie de gráficas que indican en qué rangos se encuentran las especies respecto a variables climáticas. Con esto conseguimos que los usuarios entiendan de una manera analítica los rangos de las variables abióticas que son colonizados por las especies consideradas. Esto guarda relación con el mapa de idoneidad puesto que estas gráficas se extraen a partir de los datos de las variables con las presencias.

El mapa de idoneidad pretende servir como guía acerca de la similitud climática existente en el territorio de Aragón y las "preferencias" de cada una de las especies. Estas preferencias se infieren a partir de las capturas, y son calculadas a partir de la comparación estadística de los datos abióticos existentes en el territorio de estudio. En suma, se trata de una guía que permite conocer, de un lado, aquellas zonas en las que es más probable que la especie exista, y de otra, aquellos lugares que son susceptibles de una ulterior exploración. Sin embargo, todo modelo no es más que una simplificación de la realidad y el hecho de trabajar con variables interpoladas puede acumular un cierto porcentaje de error. Los modelos que producidos en este estudio implican suponen una aportación a la capacidad de colonización de los anfibios en un territorio, y permiten obtener una síntesis de sus preferencias. Sin embargo, los resultados son susceptibles de ser modificados cuando futuras adiciones a los registros de la especie produzcan cambios en la zona colonizada por cada especie.

La actualización de la base de datos actual puede obtenerse mediante una homogeneización de las visitas a las diferentes cuadrículas de la malla UTM. Hay muchas zonas que han sido muy exploradas debido a la cercanía de zonas muy pobladas. Esto implica, por el contrario, que otras zonas han sido escasamente exploradas y que los datos procedentes de las mismas deban ser tomados con precaución.

Los visores cartográficos permiten diseminar la información geográfica, con lo que el Atlas de los reptiles y Anfibios de Aragón toma una dimensión que no sería posible sin el concurso de las tecnologías de la información y la comunicación. Nuestro desarrollo se ha centrado no solamente en producir una información coherente, sino en indicar explícitamente los datos de esfuerzo y productividad como variables características de cada una de las especies, en relación al acceso a una zona y al número de visitas de cada cuadrícula. De esta manera se pueden conectar las capas de información relativas a cada especie de vertebrado y planificar posibles salidas al campo para completar la distribución de cada especie en el territorio. Cualquier dispositivo móvil con conexión a Internet puede permitir la misma visualización, conociendo la ubicación del individuo, averiguar las especies que se pueden encontrar en el entorno.

Conclusiones

- Este proyecto ha unificado la información existente en diversas bases de datos relativas a capturas de anfibios y reptiles, en el territorio de la Comunidad Autónoma de Aragón, algunas de ellas anteriores al final del siglo XIX. El desarrollo ha permitido una serie de más de 21.000 registros de estos vertebrados, todos ellos con una adecuada referencia geográfica. La referencia se realiza en base a las mallas de UTM de 10 x 10 km. y de 1 x 1 km. con lo que la presencia de cada especie puede ser mapeada inequívocamente y servir como aportación a la compilación de bases de datos de ámbito europeo.
- La base de datos unificada ha servido para elaborar nuevos mapas de distribución de los anfibios y reptiles en Aragón, con explícita atención al esfuerzo y a la productividad y al esfuerzo. Estos parámetros se definen en nuestro estudio de forma explícita como el número de veces que se ha visitado una cuadrícula de la malla UTM, y como el porcentaje de veces que una especie dada ha sido observada en comparación con el resto de especies.
- Esta información proporciona una información ecológica y biogeográfica que permite emplazar a cada especie en un contexto de biodiversidad, explotando la información acumulada para representar no sólo la simple presencia sino la comparación en el conjunto de la biocenosis.
- Hemos desarrollado un visor utilizando OpenLayers, que permite la visualización de todos los datos anteriores en un entorno accesible a través de cualquier dispositivo dotado de acceso a Internet. La inclusión de todas las especies en el marco del CINTA permitirá el acceso a los miles de citas, resumidas para el usuario.
- Se han calculado mapas de idoneidad del hábitat, como complemento a los estudios anteriores, que permiten comparar la distribución conocida de cada especie con el conjunto de variables climáticas, que, en suma, delinean su distribución. Aunque estos desarrollos no pretenden ser más que un complemento a las aportaciones anteriores, la comparación de las áreas de idoneidad estadística con la realidad de campo, puede permitir un mejor enfoque de futuros muestreos, así como delimitar las razones de la extensión espacial de cada especie, en un contexto de cambio.

Bibliografía

Andrews, J. S. (2002). The atlas of the reptiles and amphibians of Vermont. James S. Andrews.

Asociación Herpetológica Española. Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España. [http:// siare.herpetologica.es](http://siare.herpetologica.es)

Atlas de Anfibios y reptiles de Ontario. [http:// www.ontarionature.org/protect/species/herpetofaunal_atlas.php](http://www.ontarionature.org/protect/species/herpetofaunal_atlas.php) [Consulta: 17/8/2014]

Centro de Información Territorial de Aragón (CINTA) <http://www.aragon.es/cinta&idearagon.aragon.es>

Diputación Provincial de León. Atlas virtual de Vertebrados de León. <http://oslo.geodata.es/gia/leon.php?> [Consulta: 16/8/2014]

Estrada Sánchez A, (2013) Propuesta cartográfica para la creación de un atlas de distribución de anfibios.

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Atlas of Living Australia. <http://spatial.ala.org.au>

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2004). The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3.

Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J. Elith, J. (2013). dismo: Species distribution modeling. R package version 0.9-3. <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>

Kriticos, D. J., Webber, B. L., Leriche, A., Ota, N., Macadam, I., Bathols, J., & Scott, J. K. (2012). CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(1), 53-64.

Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?. *Ecology*, 74(6), 1659-1673.

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global ecology and Biogeography*, 17(2), 145-151.

Lobos G, Hernández H, Cattán P, Méndez MA, Gallardo C, Campos L, Correa C. 2010. Atlas de Biodiversidad de Anfibios y Reptiles de la Región Metropolitana de Chile, Una herramienta para la gestión de los recursos naturales [en línea]. Dirección URL: <<http://www.atlasherpetozoos.cl/>>. [Consulta: 15/8/2014].

Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069.

Peterson, A. T. (2011). Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. *Journal of Biogeography*, 38(5), 817-827.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.

Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004, July). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* (p. 83).

Pleguezuelos, J. M., Márquez, R., & Lizana, M. (2002). Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19644-19650.

Swets, J. A. (1973). The relative operating characteristic in psychology. *Science*, 182(4116), 990-1000.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.

Anexos

Anexo 1. Se incluyen los conjuntos de mapas de 10 especies de reptiles y anfibios detectados en Aragón, como ejemplo de las posibilidades de la integración de la información y de los cálculos obtenidos en este estudio. Los especies incluidas son las indicadas en los métodos y constituyen el título de cada mapa. Para cada especie, se incluyen los siguientes datos:

- Distribución histórica hasta el año 1984, desde el inicio de la serie de datos a finales del siglo XIX, mediante cuadrículas UTM 10 x 10 km.
- Distribución de la especie entre los años 1984 y 2013, referenciadas a la misma cuadrícula, incluyendo los datos de esfuerzo (número de individuos observados) y productividad (abundancia relativa), como tamaño y color del símbolo, respectivamente.
- Un modelo de idoneidad de hábitat, desarrollado con cinco variables abióticas y los datos comprobados de presencias, en una escala de colores desde el azul (idoneidad nula) hasta el rojo (idoneidad máxima).
- Distribución de frecuencias de los datos abióticos observados en los puntos de registro de cada especie, que proporcionan la información relativa a las preferencias climáticas de la especie.

Anexo 2. Se incluye un conjunto de datos derivados de los modelos de distribución de las 10 especies de anfibios y reptiles, construidos a partir de los registros de presencias, en los que se proporciona la información espacial de idoneidad climática, los datos estadísticos de la bondad del ajuste del modelo (media de omisiones y AUC) y la contribución de cada variable al modelo final.

Anexo 3. Código en JavaScript para la realización del visor de información de la distribución de la base de datos de anfibios y reptiles en Aragón.