

# *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN: APLICACIONES EN EL ANÁLISIS TERRITORIAL*

Nieto Masot, A.  
Cárdenas Alonso, G.  
(Eds.)





**JUNTA DE EXTREMADURA**

Consejería de Economía e Infraestructuras



**UNIÓN EUROPEA**

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

Nieto Masot, A.  
Cárdenas Alonso, G.  
(Eds.)

***SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y  
TELEDETECCIÓN: APLICACIONES  
EN EL ANÁLISIS TERRITORIAL***

© Nieto Masot, A. y Cárdenas Alonso, G. (Eds.), 2018

© De los textos, sus autores, 2018

Editan:

Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura

Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura

Primera edición: 2018

Diseño cubierta: Ana Nieto Masot y Gema Cárdenas Alonso

Texto y Fotografías interior: autores y archivos correspondientes

Impresión: Cáceres

ISBN: 978-84-09-03749-0

Depósito Legal: CC - 307 - 2018

Impreso en España

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derecho Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.



# INDICE

PRÓLOGO	
José Antonio Gutiérrez Gallego.....	7
ATLAS DE MORTALIDAD DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EXTREMADURA	
Mara Figueroa, José Antonio Gutiérrez y Elia Quirós.....	11
OBTENCIÓN DE LA SUPERFICIE DE SELLADO DE SUELO A PARTIR DE TRATAMIENTO E INTEGRACIÓN DE CONJUNTOS DE DATOS ESPACIALES DE OCUPACIÓN DEL SUELO	
Enrique López y Julián Delgado.....	25
PUBLICACIÓN DE DATOS DE LOS BIENES DE INTERÉS CULTURAL DE LA PROVINCIA DE CÁCERES EN UN GEOPORTAL	
Elena Cristina Rodríguez y Ana Nieto.....	39
TELEDETECCIÓN Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADAS AL OLIVAR TRADICIONAL	
Judit Rubio, Miguel A. Vega, J. Francisco Lavado y Manuel Villar.....	55
HERRAMIENTAS SIG WEB COMO MEDIO DE DIFUSIÓN TURÍSTICA	
Gema Cárdenas y Ana Nieto.....	69
TECNOLOGÍAS SIG APLICADAS AL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE DE MÉRIDA	
Manuel Díaz y Ana Nieto.....	89
MODELOS ESPACIALES PREDICTIVOS DEL RIESGO DE SECA EN EXTREMADURA. APLICACIONES A ESCALA REGIONAL Y LOCAL EN ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS	
Álvaro Tejeda y J. Francisco Lavado.....	113



**José Antonio Gutiérrez Gallego**

Profesor del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección de la  
Universidad de Extremadura

La evolución de los procesos de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en las últimas décadas ha supuesto una revolución en los modos de abordar los estudios relacionados con el territorio. Mientras en la década de los ochenta del siglo pasado apenas se disponía de una cartografía analógica a escala 1:25.000 para todo el territorio nacional, actualmente se puede acceder a innumerables fuentes de información cartográfica digital que alcanzan niveles de exactitud muy superiores. En este momento, los profesionales vinculados con los estudios territoriales gozan de gran cantidad de servidores que disponen de abundante información en diversos formatos, tanto en modelos ráster como vectorial. Al mismo tiempo, se ha producido un importante cambio de mentalidad y de legislación a la hora de divulgar la información con una clara referencia geográfica.

Es posible descargar multitud de bases de datos espaciales de diferentes regiones, ciudades, países y continentes, todas a disposición de los usuarios e investigadores del territorio. Por otra parte, los programas informáticos dispuestos para el procesamiento de la información geográfica han puesto a disposición de los usuarios múltiples aplicaciones que permiten un exhaustivo análisis de la información. Esta constante y vertiginosa evolución de la capacidad de análisis y procesado de la información no sólo se circunscribe al software comercial tradicional empleado, sino también al software libre y a las APIs (Application Programming Interface) vinculadas con el manejo de datos espaciales.

El concepto de BigDate, vinculado con el procesamiento de datos masivos, enmarcado en el sector de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, ha pasado a formar una parte importante dentro de las Tecnologías de la Información Geográfica. Son abundantes los trabajos de investigación que tienen como fuentes de datos proveedores de datos masivos, como información de las tarjetas de crédito, información de diversas redes sociales, sistemas de reservas de hospedaje y sistemas públicos de información institucional de los ciudadanos; todas ellas permiten conocer la localización de los usuarios.

Como no puede ser de otra forma, las administraciones públicas, en función de sus competencias, están cada vez más implicadas en participar en el desarrollo de las Tecnologías de la Información Geográfica. Éstas tienen un claro compromiso para publicar la información en abierto, contribuyendo a la transparencia pública de la información y haciendo más fácil la vida de los ciudadanos.

Las universidades españolas no se han podido mantener al margen de esta creciente preocupación por las Tecnologías de la Información Geográfica. Así, las instituciones de educación superior en España, a través de las facultades que tienen otorgadas, han propiciado la integración de esta materia en las titulaciones tradicionales más relacionadas con ella, como Geografía, Geomática, Topografía, Cartografía y Ciencias Ambientales, entre otras. Al mismo tiempo, han puesto en marcha nuevos estudios de posgrado sobre esta importante materia, que permite a todos los profesionales vinculados, de una u otra manera, con el territorio especializarse en las Tecnologías de la Información Geográfica.

En este sentido, es necesario destacar el Máster Universitario en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección que imparte la Universidad de Extremadura, con notable éxito, en la Facultad de Filosofía y Letras desde el curso académico 2014-15. Este título recibe alumnos de distintas regiones y disciplinas vinculadas con la información espacial.

Atendiendo a la creciente evolución de las Tecnologías de la Información Geográfica, la comisión de calidad del Máster Universitario en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección organiza unas jornadas que permiten informar sobre los avances más relevantes. Al mismo tiempo, se pretende dar difusión de los trabajos más destacados que han desarrollado los propios alumnos del Máster. El objetivo principal de esta publicación se centra, por tanto, en destacar las aportaciones hechas en las jornadas, tanto por profesores como alumnos, contribuyendo a la generación de conocimiento sobre la materia objeto de estudio. En esta nueva edición de las jornadas, que se corresponden con esta publicación, es necesario destacar las contribuciones relacionadas con los análisis de la información territorial, como la presentación del Atlas de Mortalidad de la Comunidad Autónoma de Extremadura, la publicación de los datos de los Bienes de Interés Cultural de la Provincia de Cáceres, las tecnologías SIG aplicadas al desarrollo urbano sostenible de Mérida o las herramientas SIG WEB como medio de difusión turística. También son muy interesantes las aplicaciones dentro del ámbito de la teledetección y las propiedades físicas del terreno, como la obtención de la superficie de sellado de suelo a partir de tratamiento e integración de conjuntos de datos espaciales de ocupación del suelo y la teledetección y agricultura de precisión aplicadas al olivar tradicional.

Sin duda, puede considerarse esta publicación realmente relevante en el ámbito de estudio de las Tecnologías de la Información Geográfica por su aporte al avance del conocimiento y la divulgación de las mismas. Dichas estas palabras, no me queda otra cosa, que agradecer el honor que me han concedido mis compañeros del Máster para hacer este prólogo.





# ATLAS DE MORTALIDAD DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EXTREMADURA

Mara Figueroa<sup>1</sup>, José Antonio Gutiérrez<sup>2</sup> y Elia Quirós<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi – FCEFNS UNSJ y CONICET. Ruta 12 Km 17 CP 5407, Rivadavia - San Juan Argentina Email: m.figueroa@conicet.gov.ar

<sup>2</sup> Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura. Av. de la Universidad s/n, 10003 Cáceres – Email: jagutier@unex.es

<sup>3</sup> Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura. Av. de la Universidad s/n, 10003 Cáceres – Email: equiros@unex.es

## RESUMEN

En la actualidad, el término Epidemiología Espacial se utiliza para referirse a las tareas de descripción y comprensión de las variaciones espaciales en el riesgo de enfermedad y las variables relacionadas, ya que el estudio de las características de la mortalidad debe comprender no sólo su distribución por género y edad, elementos tradicionales, sino también el análisis espacial y temporal. Con este trabajo se crearon un sistema informático de almacenamiento y consulta de los datos e indicadores de mortalidad para Extremadura y representaciones cartográficas que los ilustran y que formarán parte del Atlas de Mortalidad de Extremadura. Para ello se han estructurado los datos de defunciones del Servicio de Epidemiología de la Consejería de Sanidad de la Junta de Extremadura, y se ha confeccionado una base de datos que, mediante conexión ODBC, se ha relacionado con un Sistema de Información Geográfica para la creación de los mapas temáticos. Los resultados obtenidos serán de utilidad, no sólo para formular hipótesis sobre las causas que originan las enfermedades, sino también para programar estrategias preventivas con las que hacerles frente.

Palabras Clave: Extremadura, atlas de mortalidad, base de datos, cartografía, SIG.

## ABSTRACT

Nowadays, the term Spatial Epidemiology is used to refer to the tasks of describing and understanding spatial variations in disease risk and related variables, since the study of the characteristics of mortality should include not only its distribution by gender and age, traditional elements, but also spatial and temporal analysis. In this work, it is pretended to create a computer system for storing and consulting the data and indicators of mortality for Extremadura and cartographic representations that illustrate them and which will be part of the Atlas of Extremadura. For this, the data on deaths from the Epidemiology Service of the Health Department of the Junta de Extremadura, have been structured, and a database has been created which, through ODBC connection, has been linked to Geographic Information System software for the creation of themed maps. The results obtained will be useful, not only to formulate hypotheses about the causes that originate the diseases, but also to program preventive strategies with which to deal with.

Key Words: Extremadura, atlas of mortality, database, cartography, GIS.

## INTRODUCCIÓN

Extremadura es una de las diecisiete Comunidades Autónomas de España, ubicada al suroeste del país, formada por las dos provincias más extensas, Cáceres y Badajoz y con su capital en Mérida, Badajoz.

El territorio se encuentra organizado en 388 Municipios, de los cuales 223 se hayan en Cáceres y los restantes en Badajoz. Residen en la Comunidad Autónoma 1.085.115 habitantes, cuyo 50,3% son mujeres y el 3,1% extranjeros, y posee una superficie de 41.634 km<sup>2</sup>, lo que determina una densidad poblacional de 26,1 hab/km<sup>2</sup> (Instituto Nacional de Estadística, 2017).

Sin embargo, la estructura de la población no sigue los patrones medios europeos. Al cotejar la pirámide poblacional en porcentajes por sexo y edad para España y Extremadura en el año 2012 (Tabla 1), se comprueba que, si bien las cifras en general son similares, se observan para Extremadura datos de población anciana superior y menor población activa y nacimientos.

Ciertos indicadores abalan estos porcentajes: El índice de Fritz representa la proporción que significa la población menor de 20 años con relación a la de 20 a 49. Valores inferiores al 60% de este índice indican que se trata de población vieja, obteniendo Extremadura un 45,98% en 2012. En el mismo año, el índice de envejecimiento fue de 125,36% y el de nacimientos de 9,17 nacidos por cada 1000 habitantes (Gobierno de Extremadura, 2013).

**Tabla 1.** Población en Extremadura vs. España. Fuente: Dirección General de Planificación, Calidad y Consumo de la CSyPS.

GRUPOS DE EDAD	EXTREMADURA			ESPAÑA		
	VARONES	MUJERES	TOTAL	VARONES	MUJERES	TOTAL
<b>0 a 19</b>	10,16%	9,63%	19,79%	10,11%	9,55%	19,66%
<b>20 a 64</b>	31,25%	29,72%	60,97%	31,75%	31,19%	62,94%
<b>Mayor de 64</b>	8,25%	10,99%	19,24%	7,43%	9,97%	17,40%
<b>TOTAL</b>	49,66%	50,34%	100,00%	49,29%	50,71%	100,00%
<b>Mayor de 80</b>	2,25%	3,85%	6,10%	1,90%	3,38%	5,27%

La heterogeneidad abarca también a la distribución geográfica de la población. La mayor concentración se presenta en los municipios de más de 20000 habitantes, que, aunque son sólo siete en Extremadura (en orden decreciente Badajoz, Cáceres, Mérida, Plasencia, Don Benito, Almendralejo y Villanueva de la Serena), éstos acogen al 40,14% del total de los residentes extremeños. La mayor diferencia se presenta en el intervalo de población de municipios de menos de 2000 habitantes, que en Cáceres representa el 31,54% de su población, y en Badajoz el 13,14%, ya que sólo 98 municipios en la Comunidad sobrepasan los 2000 habitantes (Gobierno de Extremadura, 2013).

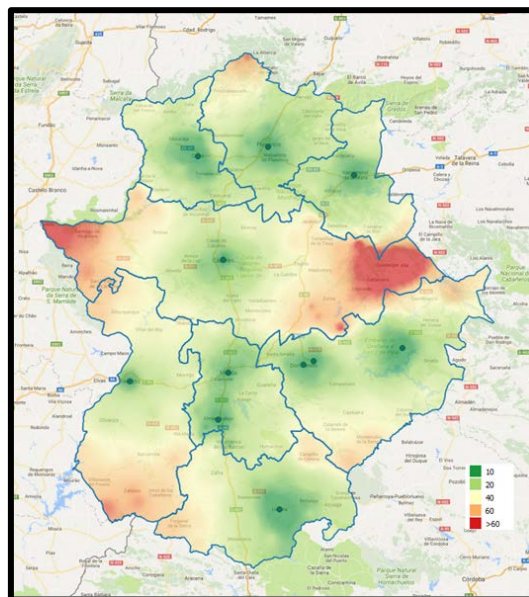
En la actualidad, diversos estudios consideran al área geográfica como un determinante de la salud, al estudiarla como el resultado de una serie de factores donde prevalecen los del tipo social (Krieger, 1994). En Extremadura, el servicio de salud se encuentra geográficamente organizado según 113 Zonas de Salud que constituyen el marco de la Atención Primaria, aglomeradas a su vez en 8 Áreas de Salud (Figura 1), cuyos límites respetan la división municipal y se basan principalmente en factores demográficos, socioeconómicos y epidemiológicos (Nieto Masot y Gárdenas Alonso, 2013).





**Figura 1.** Áreas de Salud y localización de recursos en Extremadura. Fuente: Junta de Extremadura.

No obstante, dadas las características de estructura de la población, su dispersión geográfica, los condicionantes socioeconómicos y el alejamiento respecto de las principales vías de comunicación, no todos los habitantes tienen el mismo acceso a los recursos sanitarios disponibles (Figura 2).



**Figura 2.** Tiempo de acceso en minutos a los principales Centros Hospitalarios de Extremadura por Áreas de Salud. Fuente: Gutiérrez José Antonio, inédito.

Por lo expuesto anteriormente, se deduce la importancia del estudio de las desigualdades de la población ante la muerte, no sólo de cara a la formulación de hipótesis sobre las causas que originan las enfermedades, sino también a la hora de programar estrategias preventivas con las que hacerles frente, y una de las formas más eficaces de lograrlo, es a través de la Epidemiología Espacial (Martínez Beneito et al., 2005).

En la actualidad, el término Epidemiología Espacial se utiliza para referirse a las tareas de descripción y comprensión de las variaciones espaciales en el riesgo de enfermedad y las variables relacionadas (Elliot, Cuzik,

English, y Stern, 1992), ya que el estudio de las características de la mortalidad debe comprender no sólo su distribución por género y edad, elementos tradicionales, sino también el análisis espacial y temporal.

Los antecedentes demuestran que no se trata de una disciplina novedosa, ya que la geografía médica se remonta al siglo II, atribuyéndole a Claudio Ptolomeo los primeros atlas geográficos. Aunque no es sino hasta el siglo XVIII cuando se producen los primeros mapas temáticos, cuyo objetivo es representar la distribución de fenómenos únicos o múltiples interrelacionados (Mangin, Arret, Miller, Allen, & Brooks). Ejemplo de ello es el Atlas Geográfico y Físico del Reino de la Nueva España de Alexander Von Humboldt.

En nuestro siglo, la aparición y desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de la Geoestadística, han favorecido la interdisciplinariedad entre las ciencias médicas como la epidemiología y las geociencias, siendo de vital importancia para la confección de los actuales Atlas de Mortalidad (Conesa García, 2005; Ocaña-Riola & Sánchez-Cantalejo, 2012).

## CASO DE ESTUDIO

El ámbito geográfico se circunscribe a la Comunidad Autónoma de Extremadura. El nivel de desagregación para el análisis es el de términos municipales, por ser la mínima división administrativa de la que se posee información, considerando los 380 municipios existentes hasta 1991.

La observación abarca las defunciones inscritas en el Registro de Mortalidad de Extremadura, de personas fallecidas dentro del territorio de la C.A. y asignadas a un municipio según su domicilio habitual de residencia.

El período estudiado comprende desde 1990 a 2014, analizado en dos decenios para maximizar los posibles contrastes y comprobar si los patrones geográficos persisten en el tiempo: 1990 – 1999 y 2005 – 2014.

## METODOLOGÍA

### Diseño del esquema de trabajo

Como punto de partida para la ejecución del proyecto, se contó con:

- Lista de defunciones acaecidas en la Comunidad Autónoma de Extremadura de la población residente, facilitada por el Servicio de Epidemiología de la Consejería de Sanidad de la Junta de Extremadura. Cada registro posee la información referida al año de defunción, edad del difunto, código I.N.E. del municipio de residencia y causa básica de defunción según la Clasificación Internacional de Enfermedades en su 9ª ó 10ª Edición.

- Censos Nacionales de Población y Vivienda de los años 1991, 2001 y 2011 obtenidos del Instituto Nacional de Estadística. Cada cual detalla la población por municipio (código I.N.E.), dividida según el sexo y por grupo quinquenal de edad.

- Pirámide de población estándar europea (Seguí, 1969).

- Tabla de equivalencias entre la 9ª y 10ª Edición de la Clasificación Internacional de Enfermedades descargada desde la web del Instituto Nacional de Estadística.

- Capa vectorial con información referida a la división administrativa de municipios de Extremadura en formato shapefile, proveniente de la Base Cartográfica Nacional a escala 1:200.000, con sistema geográfico de referencia E.T.R.S. 1989 U.T.M. Huso 30 Norte, provista por el Instituto Geográfico Nacional desde su Centro de Descargas.

El Modelo Entidad – Relación (Chen, 1976) es una herramienta semántica que permite el modelado de los datos intervinientes en un sistema de información objeto de estudio. Se utiliza para representar simultáneamente a través de diagramas sencillos, las entidades presentes en el sistema, sus atributos, las relaciones entre las

mismas y las restricciones o reglas de esas relaciones, de tal manera que se pierda la menor información posible. Tiene como fin principal, facilitar el acceso ágil a los datos y poder generar todas las consultas posibles a los mismos, más aún cuando se trata de un gran volumen de información. El diagrama del Modelo Entidad - Relación diseñado para este trabajo se muestra en la Figura 3.

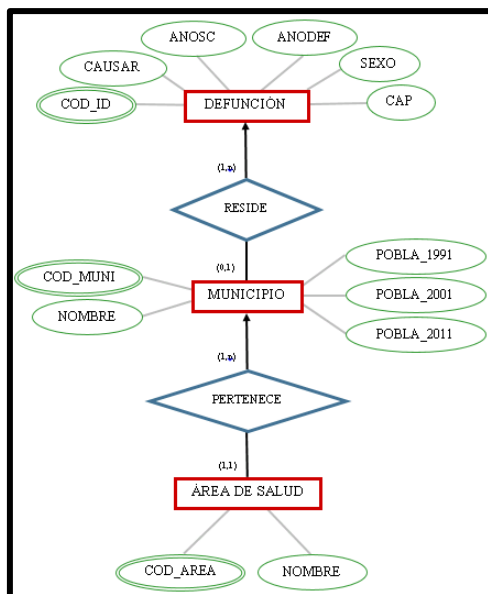


Figura 3. Diagrama Entidad - Relación de los datos.

Para la transformación del esquema conceptual al lógico estándar, se utilizan tablas o relaciones que organizan los datos en filas y columnas, cuya razón de ser tiene total independencia del software que se utilice para gestionar la base.

### Organización y estructuración de los datos

Inicialmente, para el caso de los datos de defunciones, la información proporcionada por el Servicio de Epidemiología se correspondía con la codificación y descripción que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Codificación original de los datos de defunciones.

VARIABLE	LONGITUD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE CAMPO - VALORES VÁLIDOS
ANODEF	4	Año de la defunción	Numérico
CPRORE	2	Código de la provincia de residencia del fallecido	Numérico entre 01 y 52, 99 para "no consta"
CMUNRE	3	Código del municipio de residencia del fallecido	Numérico compatible con diccionario geográfico y 999 para "no consta"
ANOSC	3	Años cumplidos del fallecido al momento de la defunción	Numérico
SEXO	1	Sexo del fallecido	Numérico: 1 para varón y 6 para mujer
CBAS1	1	Primer carácter del código de causa básica	Numérico o alfabético (CIE-9 ó CIE-10 respectivamente)
CBAS23	2	Segundo y tercer carácter del código de causa básica	Numérico
CBAS4	1	Cuarto carácter del código de causa básica	Numérico o blanco
CAUSAR	3	Causa de mortalidad según lista reducida (102 causas)	Numérico
CAUSAP	2	Causa de mortalidad perinatal (93 grupos)	Numérico
CAUSAINF	2	Causa de mortalidad infantil para menores de 1 año (54 grupos)	Numérico

Dado que los datos de causas de mortalidad perinatal e infantil no se utilizarían y significarían un volumen mayor de información que ralentizaría el procesamiento, estas columnas se eliminaron.

Al detectarse inconsistencias en la columna CAUSAR, como por ejemplo valores fuera del rango de causas (entre 001 y 102), discrepancias entre la edad o el sexo y la causa de muerte (fallecidos con 50 años y de causa de muerte infantil, mujeres con causa de muerte de cáncer de próstata), etc., se procedió a agrupar las columnas más confiables CBASI, CBAS23 y CBAS4 para obtener la codificación de la causa básica de defunción completa. Con esta referencia, se reescribió la columna CAUSAR manualmente teniendo en cuenta la tabla de equivalencias entre la 9ª y 10ª Edición de la C.I.E. (ya que una unión de tablas por un campo común no aseguraría que los resultados fueran inequívocos) y se añadió una nueva columna con la agrupación por capítulo o pequeñas causas. Las columnas CBASI, CBAS23 y CBAS4 fueron eliminadas posteriormente por resultar redundantes.

El último cambio fue el de unificar la información de las columnas CPRORRE y CMUNRE creando sólo una con el código I.N.E. de cada municipio. La estructura resultante se describe en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Codificación final de los datos de defunciones.

VARIABLE	LONGITUD	DESCRIPCIÓN	TIPO DE CAMPO - VALORES VÁLIDOS
ANODEF	4	Año de la defunción	Numérico
COD_MUNI	5	Código I.N.E. del municipio de residencia del fallecido	Numérico, para este caso, entre 06001-06903 y 10001-10904
ANOSC	3	Años cumplidos del fallecido al momento de la defunción	Numérico
SEXO	1	Sexo del fallecido	Numérico: 1 para varón y 6 para mujer
CAUSAR	3	Causa de mortalidad según lista reducida (102 causas)	Numérico
CAP	2	Causa de mortalidad según capítulo o pequeñas causas (20 causas)	Numérico romano

Por otro lado, y con el fin de solventar el problema de asignación de fallecimientos en municipios desagregados a partir de 1991, se confeccionó una tabla para relacionar dichos municipios con los originarios a los que pertenecían y así poder asignar los registros de defunciones al municipio correspondiente.

A continuación, se redefinió el formato de los censos de población. Originalmente, la información se encontraba contenida en sendas tablas que tenían por columnas los sexos y en un segundo nivel, los grupos quinquenales de edad, y por filas los municipios. Para trabajar correctamente en la base de datos, las tablas se organizaron de manera que las columnas sólo fueran los sexos y las filas, el código del municipio y los grupos quinquenales de edad en un segundo nivel de agrupación.

Finalmente, se elaboró una tabla para relacionar la edad de fallecimiento en los registros con el grupo quinquenal al que pertenecen.

### Variables consideradas

Los indicadores analizados fueron seleccionados por los responsables del estudio, basándose en el éxito de análisis precedentes de la misma tipología y se listan a continuación:

- Tasa bruta de mortalidad: Proporción de personas fallecidas en el municipio considerado respecto de la población total cada 100.000 habitantes, según la ecuación 1.

$$TB_i = \frac{C_i}{P_i} \cdot 100.000 \quad (1)$$

Siendo  $TB_i$  = tasa bruta de mortalidad para el municipio  $i$ ,  $C_i$  = cantidad de fallecimientos en el municipio  $i$ ,  $P_i$  = población en el municipio  $i$ .

- Tasa estandarizada de mortalidad: Para mitigar la falta de representatividad de los datos en algunos municipios pequeños debido a las altas tasas de envejecimiento, se normalizó la tasa de mortalidad de acuerdo a los grupos de edad quinquenales, comparando la población existente con la ideal según la pirámide de población estándar europea. El cálculo se efectuó para 100.000 habitantes según la ecuación 2.

$$TE_i = \sum \frac{C_{ij} \cdot PG_j}{P_{ij} \cdot PT} \cdot 100.000 \quad (2)$$

Siendo  $TE_i$  = tasa estandarizada de mortalidad para el municipio  $i$ ,  $C_{ij}$  = cantidad de fallecimientos en el municipio  $i$  para el grupo de edad  $j$ ,  $P_{ij}$  = población en el municipio  $i$  para el grupo de edad  $j$ ,  $PG_j$  = población para el grupo de edad  $j$  según pirámide de población,  $PT$  = población total según pirámide de población.

- Tasa estandarizada de mortalidad de Extremadura: De la misma manera que en el caso anterior, se estandarizó la tasa bruta de mortalidad por grupos de edad, pero en este caso para toda Extremadura, para 100.000 habitantes y según la ecuación 3.

$$TE = \sum \frac{C_j \cdot PG_j}{P_j \cdot PT} \cdot 100.000 \quad (3)$$

Siendo  $TE$  = tasa estandarizada de mortalidad de Extremadura,  $C_j$  = cantidad de fallecimientos para el grupo de edad  $j$ ,  $P_j$  = población para el grupo de edad  $j$ ,  $PG_j$  = población para el grupo de edad  $j$  según pirámide de población,  $PT$  = población total según pirámide de población.

- Razón de la tasa estandarizada de mortalidad: Para simplificar la lectura de los datos y representar el contraste entre los municipios con tasa por encima y por debajo de la media de la Comunidad Autónoma, se efectuó la división entre las tasas estandarizadas de cada municipio y de toda Extremadura según la ecuación 4.

$$RTE_i = \frac{TE_i}{TE} \quad (4)$$

Siendo  $RTE_i$  = razón de tasa estandarizada para el municipio  $i$ ,  $TE_i$  = tasa estandarizada de mortalidad para el municipio  $i$ ,  $TE$  = tasa estandarizada de mortalidad de Extremadura.

- Esperanza de vida: Media de la cantidad de años de vida de la población en un municipio en particular, excluyendo los casos de muerte violenta. Consiste en un número entero calculado para toda Extremadura debido a la poca variabilidad del mismo de un municipio a otro.

- Años potenciales de vida perdidos: La pérdida de vida se refiere a los casos de fallecimientos prematuros o de personas con edad por debajo de la esperanza de vida, por lo tanto, contabiliza los años "no vividos" según la ecuación 5. Las defunciones con edad de fallecimiento superior a la esperanza de vida no alteran la cuenta.

$$APVP_i = \sum EV - EF_i \quad (5)$$

Siendo  $APVP_i$  = años potenciales de vida perdidos para el municipio  $i$ ,  $EV$  = esperanza de vida,  $EF_i$  = edad de fallecimiento menor a la esperanza de vida, de las defunciones acaecidas en el municipio  $i$ .

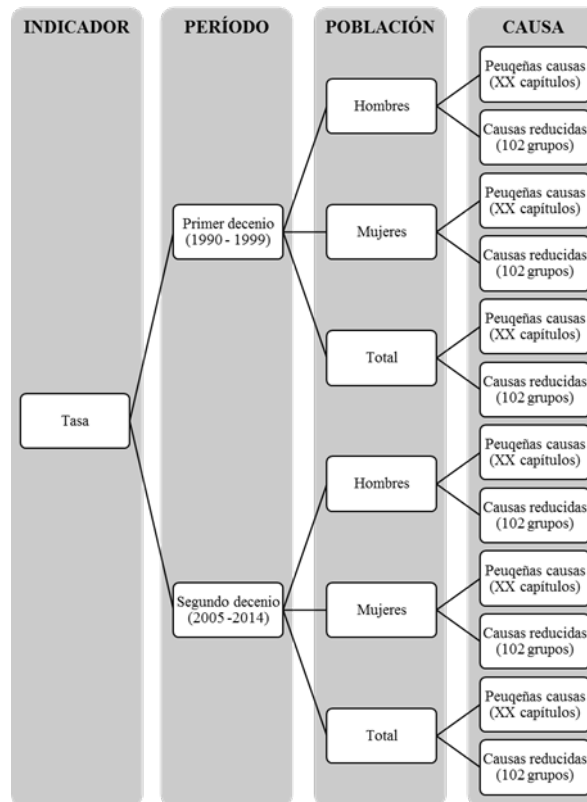
- Tasa de años potenciales de vida perdidos: Los años potenciales de vida perdidos por sí mismos no brindan información que pueda compararse de un municipio a otro debido a la heterogeneidad en la distribución

de la población, por lo que un valor alto de APVP puede significar muertes muy prematuras o simplemente gran cantidad de fallecidos con edad cercana a la esperanza de vida. Por este motivo, se divide en la población del lugar para obtener así una tasa comparable, calculada cada 1000 habitantes según la ecuación 6.

$$TAP_i = \frac{APVP_i}{P_i} \cdot 1000 \quad (6)$$

Siendo TAP<sub>i</sub> = tasa de años potenciales de vida perdidos para el municipio i, APVP<sub>i</sub> = años potenciales de vida perdidos para el municipio i, P<sub>i</sub> = población en el municipio i.

Siguiendo las pautas del anterior Atlas de Mortalidad de la C.A. (Ramos Aceitero et al., 2007), los agrupamientos considerados de mayor importancia y representatividad para el cálculo se muestran en la Figura 4. Es decir que para cada tasa se obtuvieron un total de doce tablas distintas siguiendo las combinaciones del esquema.



**Figura 4.** Esquema de agrupamiento de los datos para el cálculo de indicadores.

Una vez definidas las tasas a representar y los niveles de desagregación de la información, se procedió a crear las consultas, a través del lenguaje de interrogación SQL, a la base de datos implementada en el gestor Microsoft Access.

Inicialmente, se efectuaron ocho consultas con el propósito de categorizar los datos y facilitar así las operaciones subsiguientes. A través de la generación de consultas de referencia cruzada pudieron asignarse los registros asociados a las defunciones con los 380 municipios originarios, donde se establecieron además condiciones de sexo y año de defunción. Debido al gran volumen de información almacenado en estas tablas, los atributos de las mismas no podrían ser utilizados en consultas posteriores, por lo que se procedió a la consolidación de las mismas.

El paso siguiente fue crear consultas que agruparan los datos de los censos sólo por sexo y totales y no por grupo quinquenal de edad, para ser utilizados en las tasas donde no se utilizaría esta subdivisión.

Para determinar la población real de cada decenio, se ponderaron los datos correspondientes a los censos intervinientes en el período considerado, de acuerdo a la cantidad de años de influencia en el mismo de cada uno.

A continuación, se efectuaron todas las consultas correspondientes para obtener las distintas tasas brutas de mortalidad de acuerdo a las agrupaciones establecidas. Para ello, alternando entre las consultas de cantidad de casos correspondiente y los censos intervinientes (consultas por sexo y totales), se crearon consultas de referencia cruzada que dieron como resultado este indicador.

Del mismo modo se realizaron las consultas para obtener las tasas estandarizadas de mortalidad, relacionando en este caso las de cantidad de casos con la pirámide de población y los censos de población por quinquenio de edad. En el cálculo de tasas ajustadas, debido a la escasa entidad poblacional de algunos municipios y para evitar indefiniciones o inconsistencias provocadas por la división entre cero, hubo que filtrar convenientemente la información. Para subsanarlo, se estableció como condición que cuando la población fuera de cero, se considerara un valor excesivamente grande en su lugar, logrando así una tasa despreciable para este grupo de edad en particular sin influencia sobre el total, como se muestra en ejemplo de la Tabla 4.

Estas consultas fueron a su vez consolidadas para ser utilizadas posteriormente, en conjunto con las tasas de mortalidad estandarizada para Extremadura, en el cálculo de la razón de la tasa estandarizada de mortalidad siguiendo los mismos algoritmos.

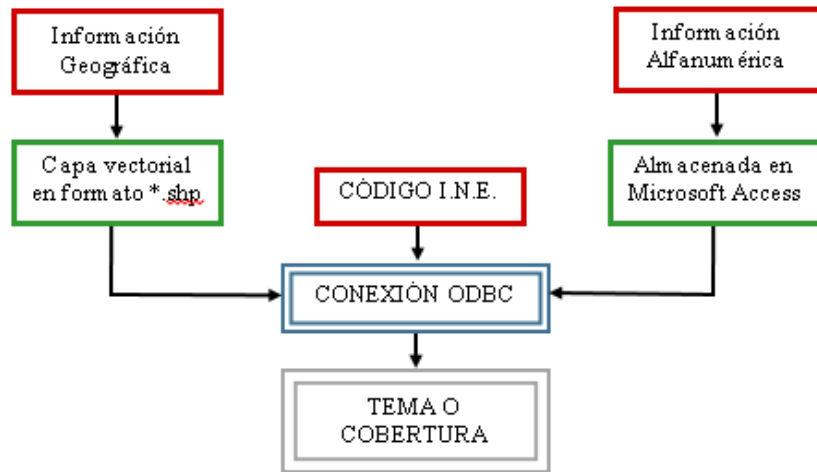
La esperanza de vida se obtuvo a través de la sentencia de selección, excluyendo las causas de muerte violenta y realizando el promedio de edad de fallecimiento según sexo y para la población total. Con estos valores se efectuaron las tablas de los años potenciales de vida perdidos y de la tasa de años potenciales de vida perdidos, a través de consultas de referencia cruzada.

**Tabla 4.** Ejemplo de sentencia SQL utilizada en una consulta.

CONSULTA	DETALLE	SENTENCIA SQL
38_tasaestR_M2D_E	Consulta que da por resultado una tabla con la tasa de mortalidad estandarizada en Extremadura, de mujeres en el segundo decenio analizado, agrupada por causas reducidas.	<pre> SELECT [15_casogrupoR_2D].CAUSAR, 100000*Sum([15_casogrupoR_2D])[(CASOS)*[04_p iramide]) [MUJER]/(100000*380*If([06_censo_200 1]) [MUJER]*0.15+[07_censo_2011]) [MUJER]*0.8 5=0,9999999999999999,[06_censo_2001]) [MUJER]* 0.15+[07_censo_2011]) [MUJER]*0.85))) AS TASA FROM (([15_casogrupoR_2D] INNER JOIN 06_censo_2001 ON ([15_casogrupoR_2D].GRUPO =[06_censo_2001].QUIN) AND ([15_casogrupoR_2D].COD_MUNI = [06_censo_2001].COD_MUNI)) INNER JOIN 07_censo_2011 ON ([15_casogrupoR_2D].GRUPO =[07_censo_2011].QUIN) AND ([15_casogrupoR_2D].COD_MUNI = [07_censo_2011].COD_MUNI)) INNER JOIN 04_piramide ON [15_casogrupoR_2D].GRUPO = [04_piramide].GRUPO WHERE ((([15_casogrupoR_2D].SEXO)=6)) GROUP BY [15_casogrupoR_2D].CAUSAR; </pre>

### Representación gráfica

Finalizado el proceso de consultas y almacenadas éstas en la base de datos, el resultado esperado es la visualización de los datos relacionados a la componente geográfica, es decir, en un mapa temático. Para llevarlo a cabo, fue necesario establecer una conexión ODBC entre los softwares Microsoft Access, donde se gestionó la base de datos alfanumérica, y QuantumGIS, como sistema de información geográfica donde se elaborarían las salidas gráficas. La estructura de enlace entre los dos componentes se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Estructura de enlace entre las componentes alfanumérica y geográfica del sistema.

A través de esta conexión, se exportan las tablas con los indicadores calculados en el SGBD y se unen a la tabla de atributos de la capa vectorial con la información geográfica, seleccionando luego la columna deseada para la representación de cada tema.

Para realizar cada una de las cartografías se utilizó, además de la división administrativa de la Comunidad Autónoma según sus municipios, la de las Áreas de Salud según la zona de influencia de cada uno de los centros hospitalarios.

Los datos fueron divididos en 5 categorías, por igual para todos los mapas, según la razón de la tasa estandarizada de mortalidad. Las dos primeras, de 0 a 0,50 y de 0,50 a 0,75, indican valores de tasa inferiores a la media de toda Extremadura. El intervalo central, de 0,75 a 1,25, representa los que están dentro de los valores medios con un 25% de discrepancia, mientras que las dos categorías restantes, de 1,25 a 1,50 y de 1,50 hasta el límite superior en cada caso, agrupan los valores por encima de la media estimada. La escala cromática elegida fue de verde oscuro para la categoría inferior a rojo vibrante para la superior, pasando por otras tonalidades de verde más claras y naranja para las intermedias. Cada municipio fue coloreado automáticamente según el intervalo al que pertenecía (no se emplearon métodos de suavizado o interpolación geográfica).

Para la referenciación se aportó una doble escala: A la izquierda de cada color, los valores correspondientes a los límites inferior y superior de cada intervalo teniendo en cuenta la tasa estandarizada de mortalidad, y a la derecha los límites de los intervalos según la razón de la misma tasa. Podría afirmarse entonces que en una misma cartografía se encuentran representadas tanto la tasa estandarizada de mortalidad como la razón de la misma.

Se consideró oportuna la inclusión de un histograma de frecuencia que muestra en cada caso, el número de municipios con cierto valor de razón de tasa estandarizada de mortalidad, dividida en intervalos del 25% y con cada barra coloreada según la escala cromática elegida para la representación general.

La escala utilizada fue de 1:1 700 000, por ser estéticamente la que mejor se ajustó al tamaño disponible en el formato elegido, y aunque no se trata de mapas con fines métricos, se incluyó una escala gráfica al pie para servir de referencia por si fuera necesario.



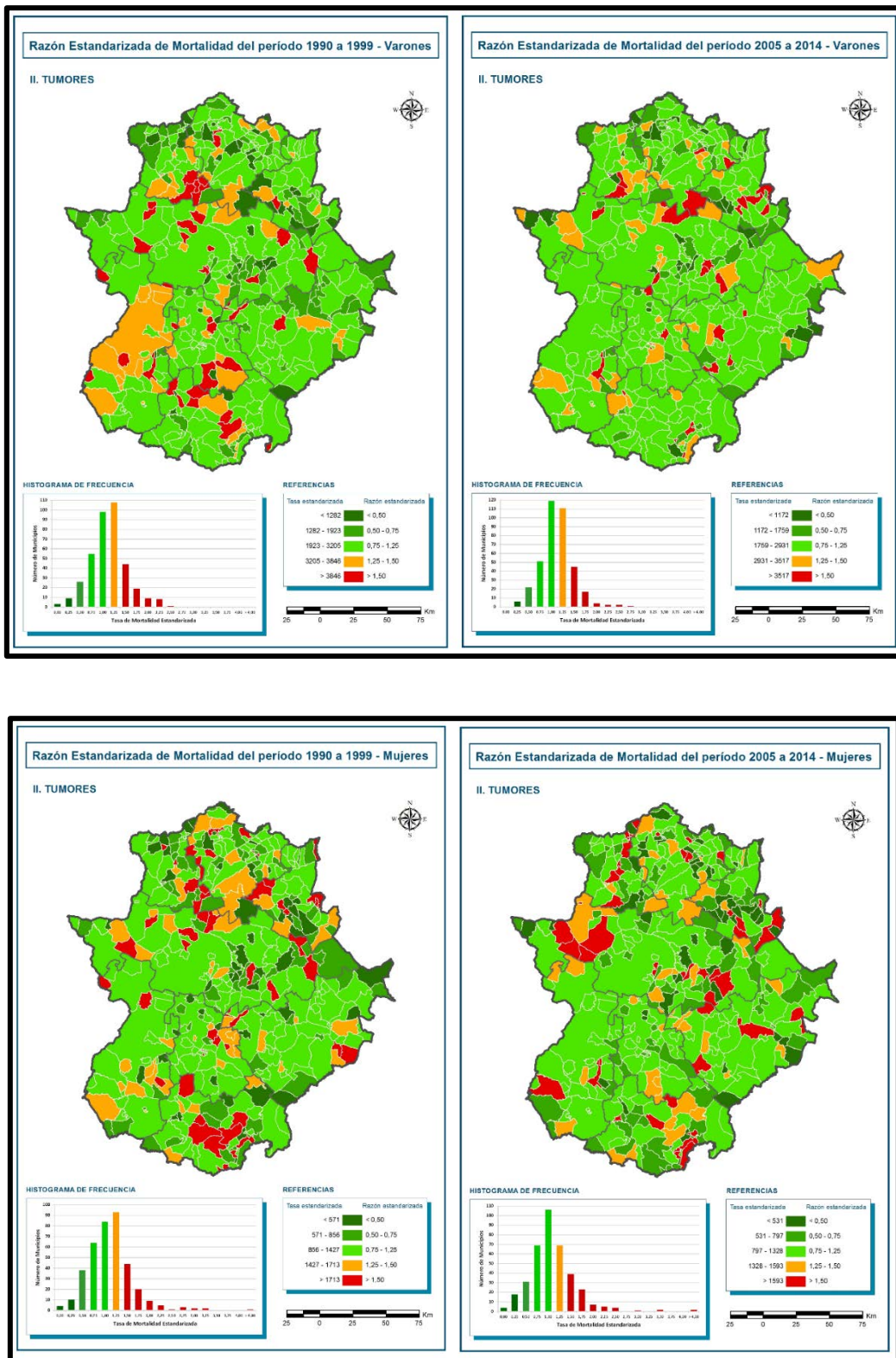


Figura 6. Causa de muerte tumores, para hombres y mujeres en ambos decenios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variados estudios pueden efectuarse utilizando tanto los resultados alfanuméricos de las consultas como las cartografías temáticas creadas. Para este apartado, se proveen sólo algunos ejemplos de posibles análisis de explotación al sistema y la potencial información que puede obtenerse de los mismos.

En primer lugar se podría analizar la esperanza de vida, por ser el indicador más ampliamente utilizado para realizar comparaciones sobre la incidencia de la mortalidad en distintas poblaciones y, en base a ello, sobre las condiciones de salud y nivel de desarrollo de las mismas. Debido a la importancia de este indicador, se efectuó la comparación entre los valores de esperanza de vida obtenidos a través del sistema y que fueron utilizados en el cálculo de los años potenciales de vida perdidos, con los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística que se observan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Esperanza de vida año a año publicada por el I.N.E.

POBLACIÓN	AÑO									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
TOTAL	76,60	76,85	77,27	77,26	77,82	78,07	77,96	78,47	78,62	78,58
VARONES	73,48	73,50	73,99	74,04	74,39	74,63	74,61	74,96	75,31	75,25
MUJERES	79,75	80,29	80,62	80,52	81,34	81,59	81,41	82,11	82,02	82,03

POBLACIÓN	AÑO									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TOTAL	79,62	80,46	80,51	81,07	81,08	81,24	81,78	81,47	81,89	82,38
VARONES	76,35	77,17	77,43	78,08	77,89	78,23	78,66	78,51	79,04	79,57
MUJERES	83,06	83,87	83,71	84,14	84,42	84,36	85,03	84,54	84,83	85,29

Para realizar la comparación, se obtuvo la esperanza de vida para cada decenio de estudio como el promedio considerado en el conjunto de años involucrados. Luego se calcularon las diferencias entre ambos decenios y la brecha o diferencia entre sexos. Para los datos provenientes del sistema se realizó lo propio, y finalmente se obtuvieron las diferencias entre ambas fuentes de datos, lo que se resume en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resumen de datos y diferencias.

Resumen de datos del I.N.E.				Resumen de datos del sistema			
POBLACIÓN	1º D	2º D	DIF.	POBLACIÓN	1º D	2º D	DIF.
TOTAL	77,75	81,15	3,40	TOTAL	75,59	78,67	3,08
VARONES	74,41	78,09	3,68	VARONES	72,44	75,70	3,26
MUJERES	81,17	84,33	3,16	MUJERES	78,89	81,85	2,96
BRECHA	6,75	6,23	-0,52	BRECHA	6,45	6,15	-0,30

Diferencias			
POBLACIÓN	1º D	2º D	DIF.
TOTAL	2,16	2,48	0,32
VARONES	1,97	2,39	0,42
MUJERES	2,28	2,48	0,20
BRECHA	0,30	0,08	-0,22

Puede observarse que en todos los casos, la estimación de la esperanza de vida del I.N.E. supera a las obtenidas en las consultas por aproximadamente dos años, pero no se considera una diferencia sustancial dado que se elabora a partir de la información proporcionada por las Estadísticas del Movimiento Natural de la

Población, la Estadística de Migraciones, en la Estadística de Nulidades, Separaciones y Divorcios y de las cifras de población residente (Estimaciones Intercensales de Población, hasta 2011, y Cifras de Población, desde 2012) por lo que la fiabilidad de los resultados depende de la de las fuentes de información empleadas.

No obstante, ambas coinciden en el aumento de la esperanza de vida de un decenio a otro para hombres, mujeres y la población total. El mayor aumento se da para los varones y se observa a su vez una reducción en la brecha que separa ambos sexos, lo que podría sugerir que al extrapolar los datos, ambas esperanzas se equipararían en los años venideros.

La importancia de la cartografía temática reside en la facilidad de su comprensión por parte del público no especializado en lectura de mapas. A través de la escala cromática, rápidamente se transmite al lector la noción del estado o cuantificación de cierto factor, además de su relación geoespacial. Por este motivo, se tomaron como ejemplo los mapas de la causa II - Tumores para ambos sexos y decenios para su análisis visual.

Las cuatro cartografías tienen en común la aparente distribución normal de la tasa que representan, que se deduce al observar la forma de campana de Gauss del histograma de frecuencia. De esta manera, se genera una mayor concentración de datos en torno a los valores centrales entre 0,75 y 1,25 y menor cantidad cuanto más se alejan de la media. Esto demuestra cierta uniformidad de las tasas de mortalidad estandarizada, ya que al encontrarse la mayoría en torno al valor unitario (con un margen del 25%) asevera la representatividad de la tasa media para toda la Comunidad Autónoma.

Otra característica en común es la heterogeneidad de la distribución espacial de las tasas. Al observar los mapas, no se identifica en ningún caso un patrón característico que determine áreas de agrupación de municipios con similares valores del indicador. Las representaciones son, en consecuencia, cuatro mapas con una aparente distribución arbitraria de valores, donde los expertos deberán decidir si las condicionantes geográficas, climatológicas, etc. propias de cada lugar influyen o no en los valores obtenidos.

Analizando las cartografías de a pares, también pueden efectuarse estudios temporales o comparativos entre sexos. Teniendo en cuenta el primer decenio, se observan, tanto en el mapa como en el histograma, valores más altos del indicador en el caso de las mujeres, comportamiento que se repite en el segundo decenio con una diferencia más notoria. Para ambos sexos se visualiza además un incremento en los valores fuera de peligro (coloreados con verde y naranja) de un decenio a otro, que se comprueba además teniendo en cuenta el decrecimiento en las cifras de la referencia.

Estos aportes podrían ser reforzados además con estudios estadísticos y la opinión de especialistas con conocimientos en áreas de sanidad y epidemiología.

## **CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se ha descrito la creación de un sistema de almacenamiento y gestión de datos de mortalidad para la Comunidad Autónoma de Extremadura.

La base de datos facilita la utilización de la información por parte de terceros ajenos a la realización de la misma, ya que las consultas diseñadas llevan a la carga rápida de los datos y minimizan los tiempos de procesamiento.

Las salidas gráficas muestran la información más relevante de forma atractiva. La variable visual utilizada permite, en cada caso, poder jerarquizar de forma espontánea los símbolos representados y aislar un grupo de símbolos de iguales características (propiedad perceptiva ordenada y selectiva). Además el histograma de frecuencia incorporado constituye un aporte numérico que complementa la información visual temática, logrando en conjunto, salidas gráficas que servirán como base para posteriores estudios epidemiológicos sobre Extremadura.

De forma general, se puede concluir que el sistema informático diseñado y producido cumple con las expectativas de los profesionales que lo utilizarán en sus estudios, como forma ordenada de almacenar los datos y diseñado para dar respuesta rápida y confiable a todas las posibles inquietudes relacionadas con los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, P. P. S. (1976): The entity-relationship model—toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 1(1), 25.
- Conesa García, C. (2005): Los Sistemas de Información Geográfica, un tema en auge para el debate: tecnología o ciencia, investigación y aprendizaje, aplicación global o integrada. *Territorio y Medio Ambiente: tecnologías de la información geográfica. Ponencias, relatorías y sesiones técnicas del XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección*, Murcia, 20 - 23 de septiembre de 2004 (pp. 42). España: Universidad de Murcia.
- Elliot, P., Cuzik, J., English, D., & Stern, R. (1992): *Geographical and environmental epidemiology. Methods for small-area studies*. Oxford: Oxford University Press.
- Gobierno de Extremadura. (2013). *Plan de Salud de Extremadura 2013 - 2020*. Mérida.
- Instituto Nacional de Estadística. (2017). *España en cifras 2017*.
- Krieger, N. (1994). Epidemiology and the web of causation: Has anyone seen the spider? *Social Science & Medicine*, 39(7), 16.
- Mangin, J., Arret, L., Miller, E., Allen, C., & Brooks, L. *Geography and maps. And Illustrated guide*.
- Martínez Beneito, M. Á., López Quilez, A., Amador Iscla, A., Melchor Alós, I., Botella Rocamora, P., Abellán Andrés, C. Escolano Puig, M. (2005). *Atlas de Mortalidad de la Comunidad Valenciana 1991 - 2000*. Valencia.
- Nieto Masot, A., & Cárdenas Alonso, G. (2013). Accesibilidad de las Zonas Rurales a Recursos Educativos y Sanitarios de Extremadura. *Los Servicios: Dinámicas, Infraestructuras y Cohesión Territorial*. Cáceres.
- Ocaña-Riola, R., & Sánchez-Cantalejo, C. (2012). Epidemiología y análisis espacial. *Información Estadística y Cartográfica de Andalucía*, 2, 8.
- Ramos Aceitero, J. M., Gutiérrez Gallego, J. A., Martínez Sánchez, J. M., Fernández del Valle, P., Rojas Fernández, C., Álvarez Díaz, M. d. M., & García Ramos, P. (2007). *Atlas de Mortalidad de Extremadura - Quinquenios 1990-1994 y 1999-2003*. Mérida: Junta de Extremadura.
- Segui, M. (1969). *Cancer Mortality for selected sites in 24 countries (1950 - 57)*. Sudaí, Japan: School of Medicine.

# OBTENCIÓN DE LA SUPERFICIE DE SELLADO DE SUELO A PARTIR DEL TRATAMIENTO E INTEGRACIÓN DE CONJUNTOS DE DATOS ESPACIALES DE OCUPACIÓN DEL SUELO

Enrique López<sup>1</sup> y Julián Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geográfico Nacional, C/ General Ibáñez de Ibero nº 3, 28003, Madrid, enlopezrodriguez@gmail.com; jdhernandez@fomento.es

## RESUMEN

El sellado del suelo antropogénico es una de las consecuencias principales de todo proceso de ocupación y desarrollo de los territorios. Asimismo, constituye una de las causas fundamentales de degradación e impacto sobre el medio físico-natural, afectando gran parte de las propiedades edafo-biológicas del territorio, acuciado por el incremento de las superficies artificiales y su correlación con los altos grados de impermeabilidad de los materiales utilizados. En este trabajo se refleja una serie de técnicas metodológicas cuyo fin último reside en la obtención de la superficie de sellado de suelo a partir de la integración y el tratamiento de distintos conjuntos y bases de datos espaciales en materia de ocupación del suelo, caso del Sistema de Información de la Ocupación del Suelo en España (SIOSE) o los productos del programa europeo Copernicus (Urban Atlas y High Resolution Layer). Se ofrece por tanto un análisis metodológico y comparativo entre las distintas fuentes de información así como los principales resultados obtenidos para las ciudades de Cáceres y Badajoz de la superficie de sellado del suelo. De esta manera se demuestra la capacidad de obtención de productos derivados a partir de fuentes de datos gratuitas y oficiales, siendo válidas para el análisis y diagnóstico territorial.

Palabras Clave: Sellado del Suelo, Ocupación del Suelo, SIOSE, Copernicus, SIG.

## ABSTRACT

Anthropogenic soil sealing is one of the main consequence of developmental and occupant territorial dynamics. It also constitutes one of the fundamental causes of environmental degradation, damaging and altering the edaphic and biological properties of territories; being the growing of artificial surfaces the main cause of this process. This study reflects some methodological approaches which is based on the integration and processing from different sources about land cover/land use database and products, such as National Land Cover and Land Use System (SIOSE), or the European Copernicus programme (Urban Atlas and High Resolution Layers). We offer a comparative analysis between this different spatial sources and the main results obtained for the cities of Cáceres and Badajoz about soil sealing surface. By this way, it is demonstrated the capacity of obtaining derived products from open and official sources, being also suitable for the territorial diagnostic and analysis.

Key Words: Soil Sealing, Land Use/Land Cover, SIOSE, Copernicus, GIS.

## INTRODUCCIÓN

El sellado del suelo es un proceso que se define básicamente por la ocupación sobre suelos de origen natural de estructuras y construcciones artificiales caracterizadas por la impermeabilidad de sus materiales. No obstante existen multitud de definiciones y semánticas relacionadas con este concepto. Las definiciones de este proceso afrontan tantas perspectivas como campos de conocimiento intervienen en su estudio, yendo desde las ópticas puramente edáficas, agrarias, biogeográficas o geotécnicas, hasta visiones integristas de la mano de la ecología y el ambientalismo (García Alvarado et al., 2014).

La Unión Europea ya en 2002 hizo pública su *Estrategia temática para la protección del Suelo*, donde se hace importante referencia a la problemática del sellado del suelo antropogénico desde el punto de vista de sus implicaciones socioeconómicas y naturales para los territorios de la Unión. En este trabajo se definió al propio proceso como la consecuencia de la construcción de viviendas, carreteras o cualquier tipo de infraestructura, añadiendo además que la consecuencia primera del proceso de sellado del suelo es la alteración de las funciones naturales y procesos del propio suelo, tales como la absorción de agua (infiltración y filtrado), modificaciones de los cursos de agua o la fragmentación de la biodiversidad (CCE, 2002).

Es por ello que desde la Unión Europea se ha contemplado este proceso fruto de las dinámicas territoriales, como un elemento a tratar y gestionar de una forma sostenible e integradora, generando para ello políticas de toda índole en materia de control de la urbanización masificada, la mitigación del impacto de la "artificialización" del territorio así como la reducción e intentos de revertir las tendencias de pérdidas de biodiversidad y capacidad funcional de los suelos.

Ya en 2012 se hicieron públicos los documentos de trabajo de los servicios de la Comisión un informe que define al sellado del suelo como *la acción de cubrir de forma permanente una superficie de terreno con material impermeable artificial* (CE, 2012), apelando además al informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2010b), donde ya se considera al sellado como la principal causa de degradación de suelos.

El suelo es uno de los elementos del medio físico natural con mayores dinámicas asociadas, sobre todo desde el punto de vista de la prestación de servicios ecosistémicos al territorio. Las principales características del suelo pueden resumirse en: regulación de los flujos de agua en tanto a las capacidades de absorción, filtrado y almacenamiento; reductor natural del riesgo de inundaciones; retención de contaminantes gracias a la capacidad de amortiguamiento así como absorción de dióxido de carbono y regulación de procesos biogeoquímicos; regulador microclimático especialmente en entornos urbanos actuando sobre la amplitud térmica, el riesgo de tormentas o la humedad; mantiene la biodiversidad general y es un elemento constitutivo y esencial del paisaje (García Alvarado et al., 2014). Asimismo se distinguen importantes funciones del suelo asociadas a la generación de beneficios naturales, socioeconómicos y culturales tales como la producción de alimentos y la biomasa, el hábitat y la reserva genética, el entorno físico y cultural para la humanidad y como fuente de materias primas (CCE, 2002).

Es por esto lógico pensar que las consecuencias e impactos del sellado del suelo tendrán su reflejo inmediato en cualquiera de los procesos y funciones que afectan al normal funcionamiento del medio físico natural así como a los insumos y efluentes que de él se demandan. El sellado de suelo provoca cambios en el estado medioambiental de las cuencas fluviales afectando a los ecosistemas y elementos relacionados con el agua, reduciéndose la capacidad de infiltración con la consecuente reducción del caudal máximo de ríos y corrientes de agua superficiales. Se produce también un aumento del riesgo de inundación así como de sequías al favorecerse la pérdida de agua por aumento de la escorrentía. También se atribuye al sellado de suelos la

fragmentación de hábitats y pérdida de las pautas migratorias de multitud de especies, además se reduce la distribución de las poblaciones de animales y plantas y se generan importantes alteraciones en las comunidades bióticas que viven directa e indirectamente del suelo, incrementándose así la pérdida de biodiversidad. La proliferación de espacios artificiales, sobre todo en zonas tradicionalmente ocupadas por fértiles espacios de cultivos tiene a su vez una incidencia directa sobre la seguridad y la calidad agroalimentaria de los territorios (CE, 2012) (García Alvarado et al., 2014).

Otros aspectos importantes son las implicaciones generadas en los propios espacios urbanos debido a las modificaciones microclimáticas, motivadas por la reducción de la evapotranspiración (por pérdida de superficie vegetal) con el consiguiente aumento de la absorción de energía solar por las superficies artificiales, provocando el efecto de *islas de calor* así como el empeoramiento de la calidad del aire como consecuencia de la pérdida de absorción por parte del sustrato arbóreo y arbustivo, que actúan como fijadores de partículas y gases contaminantes. Disponer de una gran superficie de sellado de suelo sin amplios espacios dentro de las categorías de infraestructuras verdes, provoca a su vez una pérdida de la calidad de vida en los entornos urbanos, agravado además por la rotura del entorno perceptivo a través de la fragmentación del paisaje, lo que provoca una disociación cultural y de identidad con el propio territorio (CE, 2012) (CE, 2012) (CE, 2013) (FAO, 2017).

## OBJETIVOS

El presente estudio tiene por objeto ofrecer un conjunto metodológico útil para la obtención de productos derivados a partir de fuentes de información y conjuntos de datos espaciales de carácter oficial y gratuito. Concretamente, se basa en la integración, análisis y comparación (a partir de técnicas SIG) de las distintas fuentes para la estimación de la superficie de sellado de suelo antropogénico y su aplicación sobre las dos principales ciudades de la Comunidad Autónoma de Extremadura: Cáceres y Badajoz.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Una de las mejores formas de plantear y llevar a cabo los estudios acerca del sellado de suelo en los territorios se basa en el empleo de las tecnologías de la información geográfica. Existen multitud de criterios así como metodologías y aplicaciones prácticas para ello, por lo que la elección del método adecuado de trabajo se debe adaptar a las necesidades y requerimientos tanto del territorio a estudiar (entorno escogido, características del territorio, variables territoriales a considerar, etc.) así como a las cuestiones relativas a las fuentes de información, materiales disponibles o la calidad de los datos. Es por este motivo por el que pueden encontrarse estudios generados a partir de técnicas de fotointerpretación y edición combinados con teledetección (Pérez González y García Rodríguez, 2013) (García Rodríguez et al., 2014), o bien mediante la integración de conjuntos de datos espaciales (Añó Vidal et al., 2005).

Uno de los elementos clave a la hora de trabajar con información geográfica es garantizar la fiabilidad de las fuentes de información, así como su consistencia e interoperabilidad. Por este motivo, para el desarrollo del presente estudio se ha apostado por la integración de los datos pertenecientes a distintas fuentes que tendrán en común estos principios básicos, partiendo del carácter de oficialidad. Los conjuntos de datos seleccionados son:

- SIOSE 2011: Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España, con fecha de referencia 2011. Posee cobertura completa y homogénea de todo el país a escala 1:25.000. De carácter vectorial con polígonos como estructura geométrica básica y una unidad mínima cartografiable

## Obtención de la superficie de sellado de suelo a partir del tratamiento e integración de conjuntos de datos espaciales de ocupación del suelo

de 1 ha en entornos urbanos. SIOSE se produce de manera descentralizada y compartida entre la Administración General del Estrado y las Comunidades Autónomas, y es coordinado y publicado a nivel nacional por el Instituto Geográfico Nacional.

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

- High Resolution Layer 2012 (HRL): producto perteneciente al Programa Copernicus de la Unión Europea. HRL se insertan dentro del componente *pan-european* del *Land Monitoring Service*. Proporcionan información sobre características específicas de la cubierta del suelo y son complementarias a otros productos en materia de ocupación del suelo. Se trata de imágenes producidas a partir de imágenes satelitales de 20 metros de resolución, fruto de la combinación de procesos automáticos y clasificación basada en reglas interactivas. Existen cinco productos pertenecientes a las HRL (sellado de suelo, densidad arbórea y tipo de bosque, pastizales, humedales y cuerpos de agua permanentes). Se ha empleado para este estudio el componente de sellado de suelo. Este producto captura la distribución espacial de las superficies de sellado del suelo haciendo referencia al nivel de sellado por cada unidad (píxel) expresado en tantos por cien (%) y calculado mediante un algoritmo automático a partir de NDVI calibrado.

<http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/view>

- Urban Atlas 2012: otro producto perteneciente al Programa Copernicus, en este caso dentro del componente *local* del *Land Monitoring Service*. Urban Atlas ofrece información sobre los usos y las cubiertas del suelo de las Áreas Urbanas Funcionales (FUA). Se trata de una iniciativa conjunta de la Dirección General de Política Regional y Urbana de la Comisión Europea y de la Dirección General de Empresas e Industria con el apoyo de la Agencia Espacial Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente. Este producto recoge un total de 697 FUAs, las cuales serán ciudades de al menos 50.000 habitantes. Dispone de un modelo de datos jerárquico de 27 clases y una unidad mínima cartografiada de 0,25 hectáreas a una resolución espacial de 1:10.000.

<http://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012/view>

### Superficie de Sellado a partir de SIOSE

Para la obtención de la superficie de sellado a partir de SIOSE se ha llevado a cabo un proceso de explotación y consulta sobre su base de datos. El modelo de datos SIOSE, orientado a objetos, tiene la peculiaridad de presentar relaciones de uno a muchos, entre el elemento geométrico y la información alfanumérica. En un primer paso, y tras establecer la relación entre la geometría y sus atributos, se ha procedido a la selección de únicamente aquellas coberturas simples SIOSE estrictamente artificiales y con relación directa con el sellado de suelo.



**Tabla 1.** Relación de Códigos y Nomenclaturas SIOSE con relación directa sobre el sellado del suelo. Elaboración propia.

Cobertura Artificial	Nomenclatura	Código SIOSE
Edificación	EDF	101
Vial, aparcamiento o zona peatonal sin vegetación	VAP	104
Otras construcciones	OCT	111

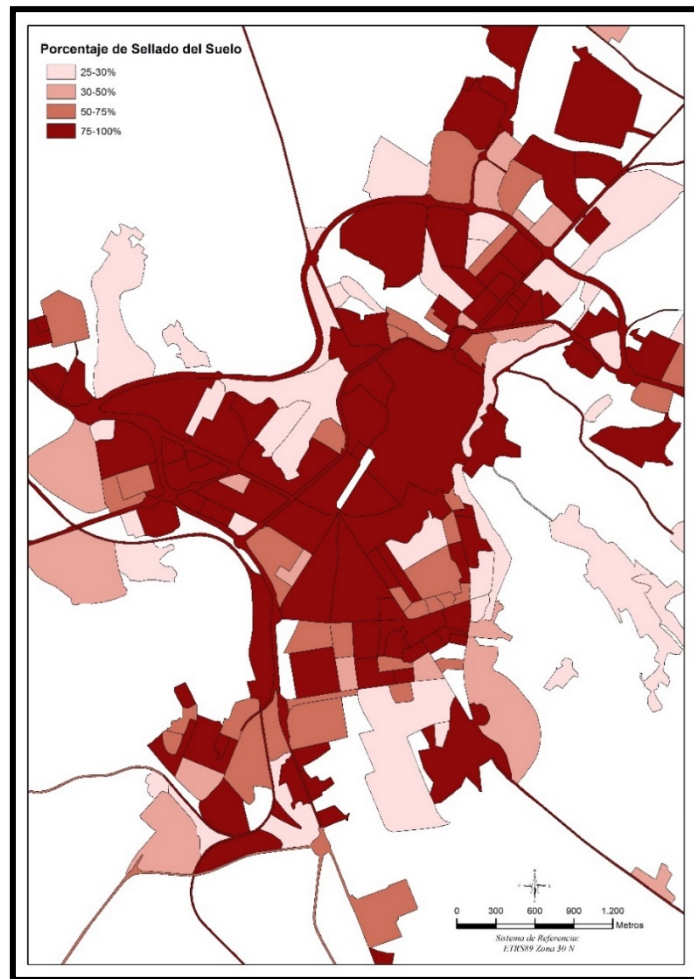
Una vez obtenida la selección exclusiva de aquellos polígonos que contienen cada una de las clases anteriormente citadas, se han extraído cada uno de los porcentajes relativos a las coberturas de sellado seleccionadas mediante análisis de frecuencia en primer lugar, el sumatorio de porcentajes para totalizar en caso de repetición de coberturas, y finalmente el cálculo de la superficie por cada polígono.

**Tabla 2.** Ejemplo de la codificación de la tabla de atributos generada en los polígonos SIOSE de sellado de suelo. Elaboración propia.

ID_POLYGON	FREQUENCY	SELL_POR	SUP_M2	SUP_HA
d647e7e6-5b6e-44f0-a21a-a12e224b849c	10103	0,25	12300	1,23
68971079-868f-4663-a5cc-fc43b641f8c9	4870	2,00	169200	16,92
8ee5b376-f630-4da4-b978-8094d1ce06eb	6774	2,75	4540,25	0,45

Del mismo modo, dado que se han calculado los porcentajes de ocupación del sellado de suelo para cada polígono, se pueden construir mapas temáticos con la distribución de dichos porcentajes:

## Obtención de la superficie de sellado de suelo a partir del tratamiento e integración de conjuntos de datos espaciales de ocupación del suelo



**Mapa 1.** Representación y distribución del sellado del suelo por porcentajes en el núcleo de Cáceres. Elaboración propia a partir de SIOSE.

### Superficie de sellado a partir de HRL

La obtención de la superficie de sellado del suelo a partir de las HRL se caracteriza por una metodología más sencilla, puesto que como producto específico sobre sellado del suelo que es, ya tiene la información recogida sobre el porcentaje de ocupación del sellado en sí mismo. Como se comentó anteriormente, las HRL (en todas sus temáticas) se tratan de imágenes con una resolución de  $400 \text{ m}^2$  ( $20 \times 20 \text{ m}$ ) el píxel. El valor de cada celda en este caso será el equivalente en porcentaje de la superficie de sellado de suelo en el territorio. Asimismo, la HRL de sellado viene acompañada por una tabla de atributos en la que se determina por cada valor posible de píxel (de 1 a 100), el conteo existente (número de píxeles con dicho valor). De esta manera, la obtención de la superficie real de sellado del suelo para toda el área de estudio se basa en la relación entre la superficie del píxel y la superficie de ocupación en porcentaje de sellado sobre ese mismo píxel. El disponer del conteo de píxeles por cada valor de porcentaje simplifica la labor, ya que entendiendo que cada píxel mide  $400 \text{ m}^2$ , si existen, por ejemplo, 20 píxeles con un valor de 50 (50%) de sellado, la superficie real sobre esos píxeles será de  $4.000 \text{ m}^2$ ,  $(20 \times 400) \times (0,5) = 4.000 \text{ m}^2$ .

**Tabla 3.** Ejemplo de atributos y cálculo de superficie de sellado a partir de HRL de sellado del suelo. Elaboración propia.

Value	Count	Classname	Sup_Sum_Pixel	Multiplicador	Sup_Sellado (m2)
75	598	75% Imperviousness Value	239200	0.75	179400
76	1142	76% Imperviousness Value	456800	0.76	347168
77	773	77% Imperviousness Value	309200	0.77	238084
78	1132	78% Imperviousness Value	452800	0.78	353184
79	834	79% Imperviousness Value	333600	0.79	263544
80	1185	80% Imperviousness Value	474000	0.8	379200



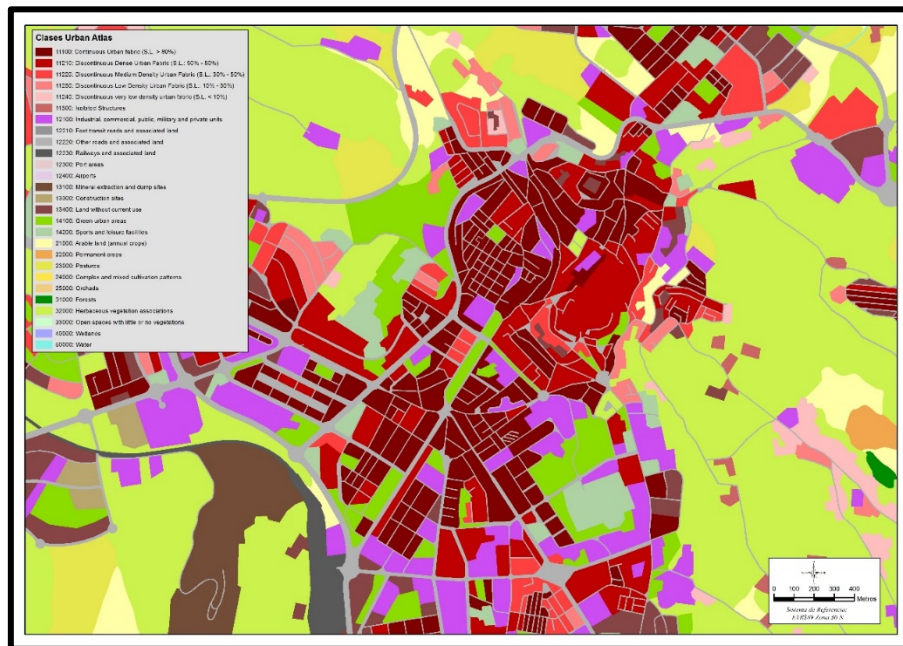
**Mapa 2.** High Resolution Layer de sellado del suelo del núcleo de Badajoz. Elaboración propia a partir de datos Copernicus.

### Superficie de Sellado a partir de la integración de Urban Atlas y HRL

La estimación de la superficie de sellado del suelo en este último punto se ha realizado mediante la integración de la información contenida en los conjuntos de datos Copernicus: Urban Atlas y HRL. Como se ha visto anteriormente, HRL dispone de una importante información relativa a la superficie de sellado indicado mediante unidades porcentuales sobre el territorio. Dada la alta resolución geométrica del Urban Atlas como producto de ocupación del suelo, se ha procedido a la identificación de las clases Urban Atlas que comprenden el

## Obtención de la superficie de sellado de suelo a partir del tratamiento e integración de conjuntos de datos espaciales de ocupación del suelo

sellado del suelo (al igual que ocurría en SIOSE, se consideran clases de ocupación de sellado del suelo aquellas de más íntima relación con la "artificialización" del territorio) para la asignación geométrica de la zona de estudio.



**Mapa 3.** Urban Atlas de Cáceres. Elaboración propia a partir de datos Copernicus.

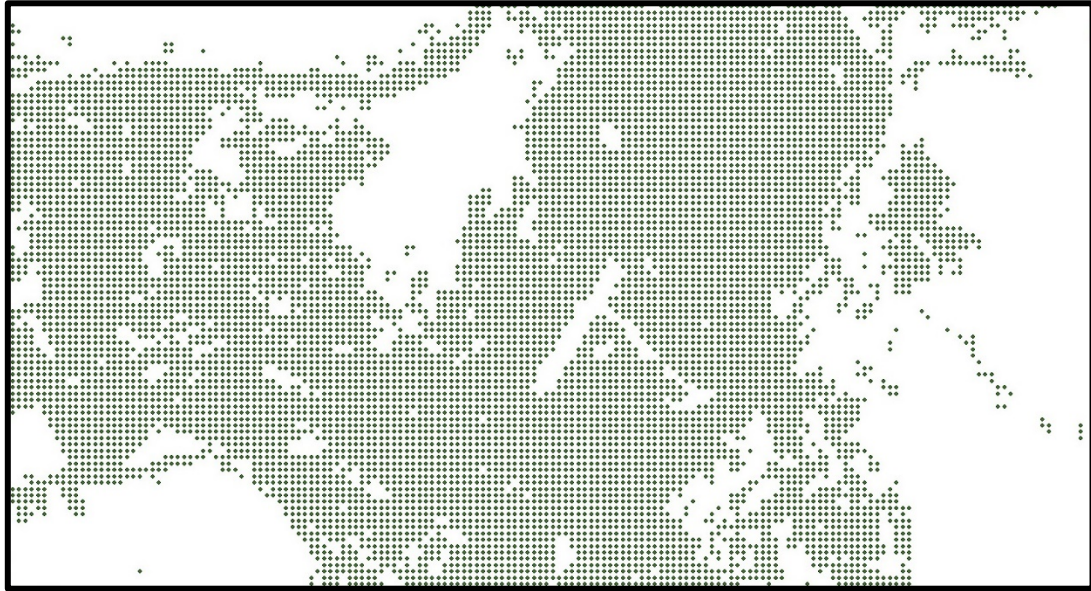
**Tabla 4.** Relación de códigos y nomenclaturas de Urban Atlas seleccionadas para la obtención de superficie de sellado de suelo. Elaboración propia.

Código UA	Descripción
11100	Continuous urban fabric (S.L.: > 80%)
11210	Discontinuous dense urban fabric (S.L.: 50% - 80%)
11220	Discontinuous medium density urban fabric (S.L.: 30% - 50%)
11230	Discontinuous low density urban fabric (S.L.: 10% - 30%)
11240	Discontinuous very low density urban fabric (S.L.: < 10%)
12100	Industrial, commercial, public, military and private units
12210	Fast transit roads and associated land
12220	Other roads and associated land
12230	Railways and associated land

Al efectuar la selección por cada una de las clases UA anteriormente descritas, se obtiene una cobertura geométrica completa para la zona de estudio. Hay que añadir que pese a que Urban Atlas, en su modelo de datos incluye referencia al porcentaje de sellado del suelo en las clases de tejido urbano continuo (*Urban fabric*) bajo el criterio de densidad, se trata únicamente de un dato descriptivo (cualitativo) fundamentalmente válido para la representación temática. Como el objetivo de este estudio es el de la obtención cuantitativa del sellado del suelo

en términos de superficie de ocupación sobre el territorio, se ha obviado este dato del Urban Atlas, sirviendo exclusivamente los polígonos obtenidos de la selección de clases artificiales como esqueleto geométrico al que aplicar la integración de los datos de HRL.

El proceso de integración de los datos de HRL parte de la vectorización de la imagen ráster original. Para ello se ha transformado en una capa de puntos, en el que cada píxel acaba representado por su centroide con el valor de porcentaje de sellado como atributo.



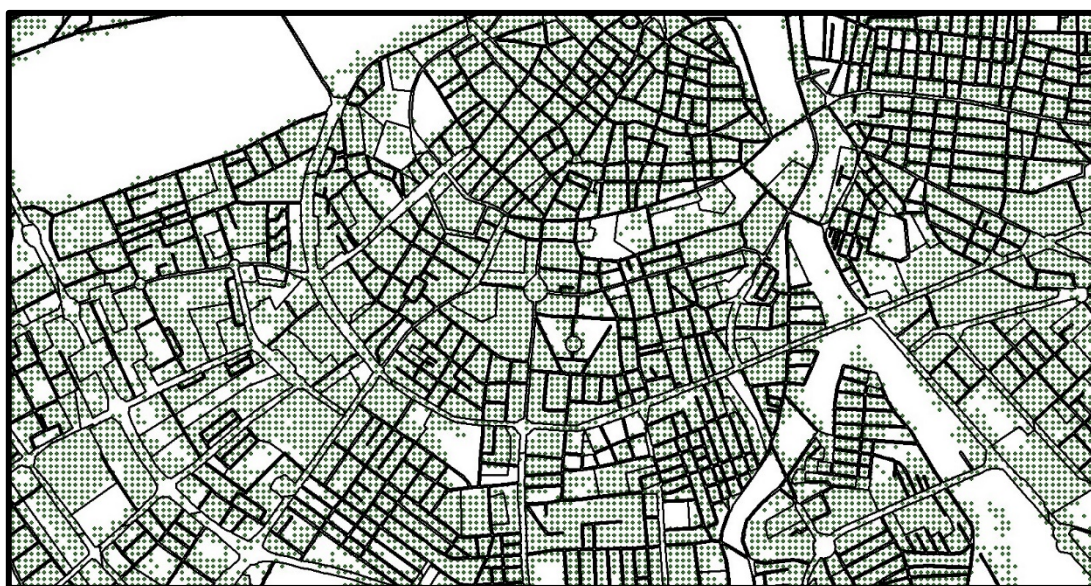
**Figura 1.** Captura de capa de puntos generada a partir de HRL de sellado de suelo en Cáceres. Elaboración propia a partir de datos Copernicus.

Una vez obtenida la capa de puntos para todo el territorio, el paso final para la integración de ambas fuentes se fundamenta en la unión de entidades llevado a cabo mediante un proceso de unión espacial. Asimismo, ha de configurarse la forma en la que los atributos van a integrarse entre las dos capas. En este sentido, se ha procedido a una unión cuyo resultado final sean las geometrías de polígonos de Urban Atlas (tras la selección de clases de sellado) en la que cada polígono contenga como indicador de la superficie de sellado la media del valor de sellado de los puntos de la capa de HRL que contienen.

**Tabla 5.** Ejemplo de la información alfanumérica obtenida por polígono tras el proceso de unión entre UA y HRL, apareciendo ya integrado el campo Avg\_GRID\_C (media del valor de los puntos HRL ubicados dentro de cada polígono). Elaboración propia.

FID_1	COUNTRY	CITIES	FUA_OR_CIT	CODE2012	Shape_Area	Count_	Avg_GRID_C
<b>2179</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	11230	385163,097496	259	50
<b>5311</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	12220	211630,316749	430	89
<b>3520</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	12100	196869,371276	362	96
<b>3365</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	12100	191167,762194	415	93
<b>1924</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	11220	344340,213268	159	50
<b>3579</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	12100	171602,301899	335	97
<b>5415</b>	ES	Badajoz	ESD17L2	12220	178049,481008	409	93





**Figura 2.** Captura de la capa de polígonos Urban Atlas sobre puntos HRL en el núcleo de Badajoz. Elaboración propia a partir de datos Copernicus.

## RESULTADOS

Una vez integrados los datos, y efectuado las metodologías de análisis correspondientes, se muestran a continuación los principales resultados obtenidos de forma genérica para el área definida por los términos municipales de Cáceres y de Badajoz:

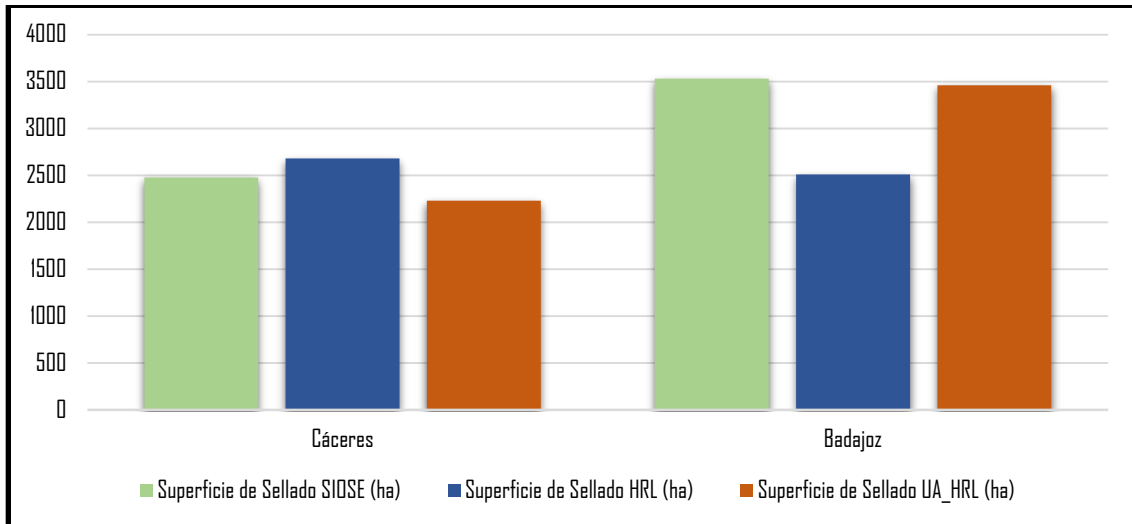
**Tabla 6.** Comparativa de la superficie de sellado de suelo obtenida para Cáceres y Badajoz por cada fuente de datos utilizada. Elaboración propia.

	Superficie de Sellado SIOSE (ha)	Superficie de Sellado HRL (ha)	Superficie de Sellado UA_HRL (ha)
Cáceres	2477,35	2679,93	2230,04
Badajoz	3529,88	2509,52	3459,51

Como se aprecia en la tabla previa, los resultados van diferir en función del conjunto de datos empleados como fuente de información. Así, en el caso de Cáceres, la mayor superficie de sellado se ha obtenido de HRL con 2.679,93 ha, seguida en relación descendente por la obtenida a partir del SIOSE (2.477,35 ha) y de la combinación UA-HRL (2.230,04 ha). Por su parte en Badajoz no se ha observado la misma tendencia, siendo en este caso del SIOSE del conjunto de datos que mayor superficie de sellado del suelo se ha obtenido con un valor absoluto de 3.529,88 ha, muy lejos de las 2.509,52 ha extraídas de HRL y algo más similar a las 3.459,51 ha de la combinación UA-HRL.

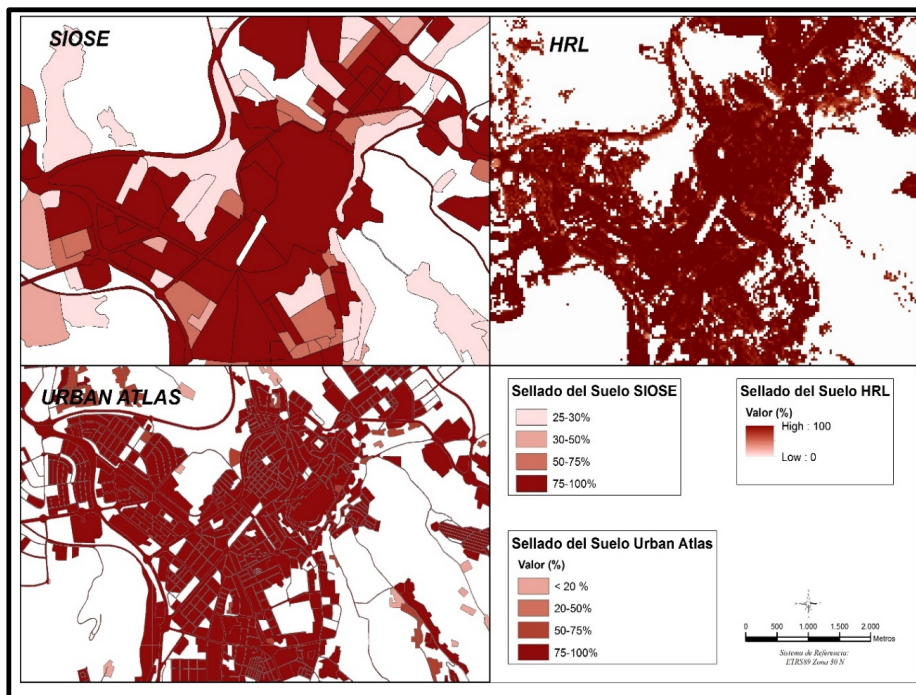
La explicación a la variabilidad de datos en cuanto a la superficie obtenida por cada procedimiento tiene su origen en la distinta naturaleza de cada conjunto de datos y la aplicación de diferentes metodologías. Como pudo verse en el apartado metodológico, existe combinación entre fuentes de carácter vectorial e imágenes. Del mismo

modo que cada producto vectorial dispone de unas especificaciones distintas a otro (distinta resolución temática, geométrica, etc.).

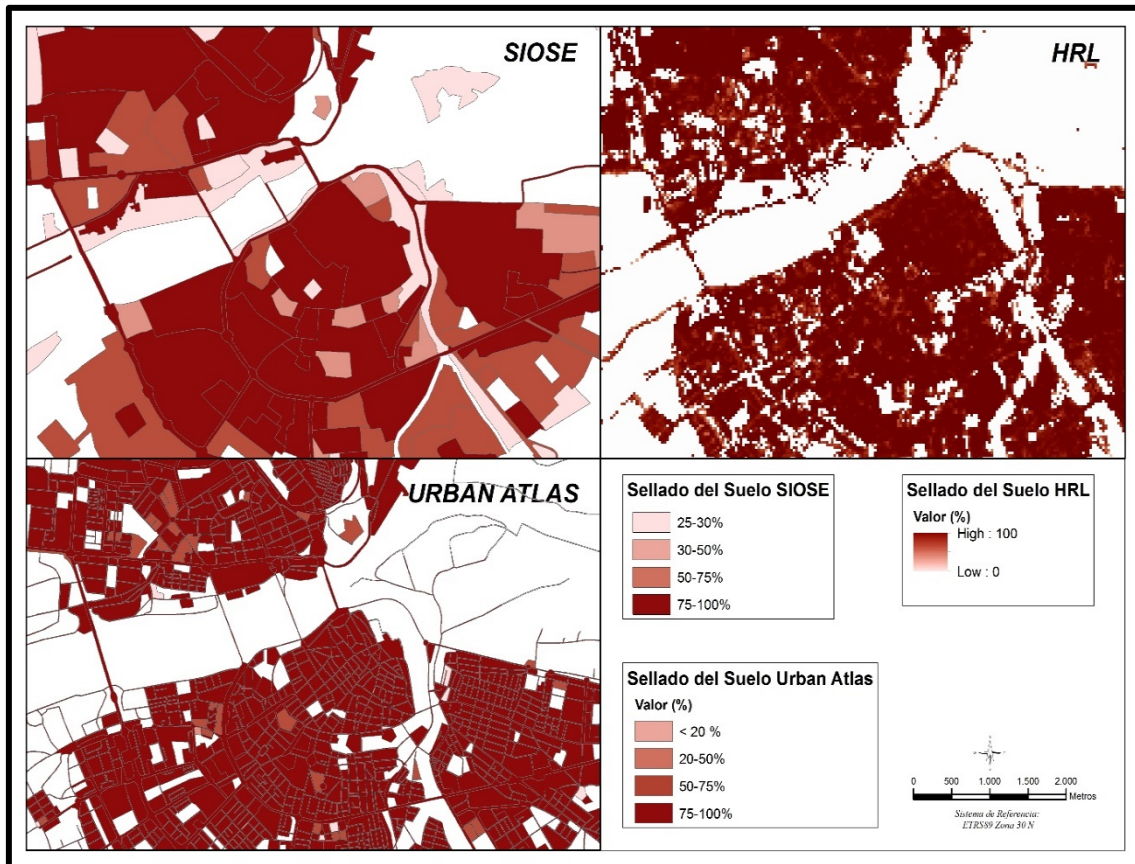


**Figura 3.** Distribución de la superficie de sellado del suelo obtenida por fuente de origen y ciudad de aplicación. Elaboración propia.

Por otro lado y aprovechando el componente espacial de los datos, pueden construirse productos derivados en forma de mapas temáticos de la zona de estudio para una mejor representación e interpretación del territorio. En este sentido, se presentan a continuación unas cartografías comparativas entre las geometrías y la superficie de sellado asignadas en cada caso para cada ciudad extremeña:



**Mapa 4.** Distribución de la superficie de sellado del suelo en el núcleo de Cáceres. Elaboración propia a partir de datos SIOSE y Copernicus.



**Mapa 5.** Distribución de la superficie de sellado del suelo en el núcleo de Badajoz. Elaboración propia a partir de datos SIOSE y Copernicus.

## CONCLUSIONES

La obtención de parámetros e indicadores territoriales a partir de información geográfica de referencia se convierte en una tarea indispensable para el planificador territorial. De este modo, se pueden obtener productos derivados que tendrán como características elementales la oficialidad, la consistencia y la integridad.

Dado que para el ámbito de actuación de este estudio se han utilizado los términos municipales (y siendo los Cáceres y Badajoz de los más extensos de España), no se ha efectuado un análisis determinante sobre la relación entre la superficie de sellado y la superficie de aplicación ya que para tal fin habrían de emplearse escalas de trabajo y ámbitos de aplicación exclusivamente urbanas (planes de ordenación urbana, catastro, etc.) para poder en última instancia evaluar el grado de afección de los territorios ante este proceso.

No obstante, los datos presentados reflejan una perfecta interoperabilidad entre las distintas fuentes de información, mostrando resultados válidos y apropiados tras la aplicación de varios procesos y procedimientos cartográficos. Ello también es objeto de mejoras, fundamentalmente en la precisión temática de los conjuntos espaciales de ocupación del suelo, ya que considerando conjuntos de datos con mayores resoluciones tanto temáticas como geométricas, éstos ofrecerán mejores resultados cuando se sometan a procesos de análisis y tratamiento.



El sellado del suelo es un parámetro e indicador elemental para la comprensión de las dinámicas territoriales, siendo además el testigo más adecuado para entender las relaciones hombre-medio, fundamentalmente en espacios donde estas relaciones requieren de especial consideración, como son los entornos urbanos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Añó Vidal, C., Pascual Aguilar, J. A. y Sánchez Díaz, J. (2005): Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. *Investigaciones Geográficas*, nº 38. pp. 65-77.
- CCE (2002): *Hacia una estrategia temática para la protección del suelo*. Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. Comisión de las Comunidades Europeas. Bruselas. 40 pp.
- CE (2012): *Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo*. Documentos de Trabajo de los servicios de la Comisión. Comisión Europea. Bruselas. 69 pp.
- CE (2013): *Los costes ocultos del sellado del suelo. En busca de alternativas a la ocupación y el sellado del suelo*. Comisión Europea. Luxemburgo. 31 pp.
- Copernicus. EAGLE Group: *Geometric test cases* <http://land.copernicus.eu/eagle/files/documents-and-reports/t41-geometric-testcase-report>
- FAO (2017): *Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 26 pp.
- García Alvarado, J. M., Pérez González, M. E. y García Rodríguez, M. P. (2014): Revisión del concepto de sellados de suelos y propuesta de tipología urbana. *Anales de Geografía*, vol. 14, nº 1. pp. 87-103.
- García Rodríguez, P. et al. (2014): *Sellado de suelos a partir de teledetección y SIG: estudio en el Tajo medio-alto*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 66 pp.
- Pérez González, M<sup>a</sup>. E. y García Rodríguez, M<sup>a</sup>. P. (2013): Sellado de suelos en áreas con riesgo de inundación. *XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. INTA, Torrejón de Ardoz (Madrid). 4 pp.

Obtención de la superficie de sellado de suelo a partir del tratamiento e integración de conjuntos de datos espaciales de ocupación del suelo

# PUBLICACIÓN DE DATOS DE LOS BIENES DE INTERÉS CULTURAL DE LA PROVINCIA DE CÁCERES EN UN GEOPORTAL

Elena Cristina Rodríguez-Garlito<sup>1</sup> y Ana Nieto Masot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dep. Tecnología de los Computadores y de las Comunicaciones. Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, elenacristinarg@unex.es

<sup>2</sup> Instituto de Desarrollo Territorial Sostenible, Universidad de Extremadura, ananieto@unex.es

## RESUMEN

La provincia de Cáceres cuenta con un amplio Patrimonio Cultural entre los que se deben proteger, por su singularidad y gran valor histórico, natural y cultural, los Bienes de Interés Cultural (BIC). Este trabajo aprovecha la demanda creciente de la geovisualización a través de Internet y las nuevas técnicas desarrolladas en esta materia, para mostrar la información geográfica relativa a los BIC de la provincia de Cáceres a través de la red, mediante un geoportal. Además, dado el dinamismo de la información que puede publicarse, se necesita mantener actualizados los recursos disponibles al público y, para ello, se va a desplegar, también, un geoservidor que actúa como capa de abstracción entre el técnico en Sistemas de Información Geográfica o usuarios y entre el servidor, permitiéndoles almacenar y actualizar la información relativa a los Bienes de Interés Cultural, sin conocimientos en administración de sistemas. Se usan tecnologías gratuitas y de código abierto, mediante el despliegue del geoportal y del geoservidor, a través de la tecnología basada en OpenLayers y de la tecnología GeoServer, respectivamente. Se permite con ello, difundir información de los BIC, tanto para promocionar el turismo, como para visualizar y almacenar información, que podrá ser consultado tanto por usuarios como por técnicos.

Palabras clave: BIC, geoportal, geoservidor, GeoServer, OpenLayers.

## ABSTRACT

The province of Cáceres has an extensive Cultural Heritage with different kind of goods. Among them, the Cultural Interest Goods (BIC) must be protected because of their uniqueness and great historical, natural and cultural value. This work takes advantage of the growing demand for geovisualization through the Internet and the new techniques developed in this area, to show the geographic information related to the BICs of the province of Cáceres through the network, using a geoportal. In addition, given the dynamism of the information that can be published, it is necessary to keep the resources available to the public up-to-date and, to achieve this objective, a geoserver is also deployed to work as an abstraction layer between the Geographic Information Systems technician or the users and the server, allowing them to store and update the information related to Cultural Interest Goods, without needing any knowledge in systems administration. Free and open source technologies are used, through the deployment of the geoportal and the geoserver, using technology based on OpenLayers and GeoServer, respectively. This allows the dissemination of BIC information, both to promote tourism and to view and store information, which can be consulted by both users and technicians.

Key-Words: BIC, geoportal, GeoServer, OpenLayers.

## INTRODUCCIÓN

En la última década del siglo XX, nuevas técnicas de geovisualización han tenido una gran trascendencia en los desarrollos técnicos en el mundo de los SIG y la cartografía (Mateos, 2013). Con la nueva concepción de las páginas Web, las Web 2.0, el usuario ha pasado a ser uno activo que no sólo lee, sino que discute, comenta y participa activamente (O'Reilly, 2005). Este surgimiento de la web de segunda generación o web social, en el plano geográfico se ha denominado geoweb (Elwood, 2009). Otro factor involucrado en la revolución de la geovisualización es el fenómeno denominado como la "democratización" de la información geográfica (Butler, 2006), de tal manera que ya no hace falta ser expertos en Sistemas de Información Geográfica para que los usuarios de Internet puedan compartir o acceder a información con componente espacial. Un claro ejemplo de este fenómeno es el uso generalizado de globos virtuales como el de Google Earth o sitios web como Open Street Map, así como la producción de información con contenido geográfico generada por los usuarios de manera altruista, definido como información geográfica voluntaria (Goodchild, 2007). En relación con este tema, han aparecido los conceptos de mapping mashup (agregados cartográficos), crowd sourcing (que se aplica a la generación de contenido de forma colaborativa) y neogeography, (técnicas y herramientas geográficas elaboradas por un grupo no experto de usuarios).

Con estas nuevas tendencias del mundo de la información geográfica y de geovisualización, se han desarrollado nuevas metodologías para trabajar con información geográfica en estudios de gran relevancia cultural, social y política (Elwood, 2011) y han permitido que pueda usarse la información geográfica como herramientas productivas de investigación en todas las etapas de resolución de problemas de análisis geográfico (Buckley, Gahegan, & Clarke, 2000).

En este trabajo, se maneja un tipo de información relacionada con Bienes del Patrimonio Histórico y Cultural. El Patrimonio Cultural es consecuencia de las manifestaciones de las diferentes civilizaciones sobre un espacio y corresponde a los datos que los seres humanos vamos dejando a lo largo de nuestra vida en la tierra, a través de los cuales puede conocerse (Alfonso, 2003). El Patrimonio Histórico Español está constituido por aquellos bienes muebles e inmuebles de valor histórico, artístico, científico o técnico que conforman la aportación de España a la cultura universal. También se incluyen: el Patrimonio Arqueológico y Etnográfico, los Museos, Archivos y Bibliotecas estatales y, el Patrimonio Documental y Bibliográfico (Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, 1985). En concreto, se centra en los bienes muebles e inmuebles del Patrimonio que por su singularidad y relevancia necesitan protección y tutela, como son los Bienes de Interés Cultural (en adelante BIC). En España, la ley busca asegurar la protección y fomentar la cultura material y la concibe como un conjunto de bienes que deben ser apreciados y protegidos (Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, 1985) y (Ministerio de educación, cultura y deporte, s.f.). Para que un bien sea considerado como BIC, se debe declarar por ley o por Real Decreto. Estos BIC pueden estar clasificados dentro de las categorías de bienes muebles o inmuebles.

En Extremadura se aprobó en 1999 la Ley de Protección del Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura (Gobierno de Extremadura, 1999). Sin embargo, a pesar de ser una región rural con un amplio legado patrimonial (natural y cultural), se comprobó, en el año 2008, que era la Comunidad Autónoma con el menor número de BIC declarados por superficie regional, como se puede ver en un estudio realizado por Adenex (Asociación para la Defensa de la Naturaleza y los Recursos de Extremadura), (Díaz, 2015). Además, se comprobó que los expedientes incoados sufrían retrasos con el riesgo de no ser resueltos. Tras estas denuncias, la Junta de Extremadura reaccionó con un aumento de las declaraciones de los BIC, resolviendo expedientes dentro del plazo establecido.

Según la Ley anterior, los BIC en Extremadura se clasifican en varios tipos según sean bienes inmuebles (monumentos, conjuntos históricos, jardín histórico, sitios históricos, zona arqueológica, zona paleontológica, lugares de interés etnológico, parques arqueológicos, espacios de protección arqueológica), bienes muebles o artes y tradiciones populares, los usos y costumbres de transmisión consuetudinaria en canciones, música, tradición oral, las peculiaridades lingüísticas y las manifestaciones de espontaneidad social extremeña. Se realizan inventarios por parte de la Junta de Extremadura y según la información facilitada, se encuentran inventariados 204 BIC en Extremadura hasta el año 2016. En concreto, en la provincia de Cáceres se recogen 108.

Además de que existan políticas enfocadas a acrecentar y proteger el Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura, la sociedad debe estar implicada conociéndolo y valorándolo. Conociendo la información geográfica de los BIC se puede fomentar el turismo cultural-patrimonial. Este trabajo tiene como objetivo difundir, a través de un geoportal, la información relacionada con los Bienes de Interés Cultural de la provincia de Cáceres (BIC), así como su información geográfica.

Un geoportal es un portal web utilizado para buscar, visualizar, obtener y acceder a información geográfica a través de Internet. Se pretende que cualquier usuario pueda consultar la información geográfica accediendo a un mapa en poco tiempo y sin ningún coste (Mateos, 2013). El geoportal actuará como una puerta de acceso a la información espacial, centralizando las búsquedas a través de él (Goodchild et al., 2007). A su vez, se denomina geoservidor, al sistema software sobre el cual puede almacenarse información geoposicionada para posteriormente ser visualizada, si se desea, a través de un geoportal. Este geoservidor estará instalado, a su vez, en un servidor físico (hardware) con los recursos necesarios para atender las peticiones de los usuarios que accederán al mismo.

Existen numerosas iniciativas que han utilizado geoportales para la difusión de información y debido a la necesidad de homogeneizar la información geográfica, surgen las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) y la Directiva INSPIRE, donde se describen normas que dictan las pautas para el establecimiento de geoportales, y organizaciones internacionales como la ISO y el Open Geospatial Consortium (OGC) que colaboran, desarrollan e implementan estándares en el ámbito de los contenidos geospaciales. Con este trabajo se va a ofrecer un estándar para representación y obtención de información geográfica de los BIC de la provincia de Cáceres, como es el Web Feature Service (WFS) y un estándar para mapas y visualización, como es el Web Map Service (WMS), que tienen las siguientes características:

La preparación de la información que se va a visualizar en el geoportal así como para desplegar el mismo y el geoservidor, el empleo de tecnologías de software gratuito y Open Source se ha tenido en cuenta por sus múltiples ventajas.

El siguiente trabajo está estructurado del siguiente modo: en la sección Metodología; se describe la fuente de los datos por la que se ha obtenido la información inicial de los BIC y que se ha completado y se detalla el despliegue del geoportal y del geoservidor. En la sección Resultados, se describen las funcionalidades del geoportal y geoservidor desplegados. En la sección Discusión, se señalan las ventajas de las tecnologías escogidas para la publicación de los BIC de la provincia de Cáceres, así como posibles líneas de trabajo futuras. En la sección Conclusiones, se resumen las principales aportaciones de este trabajo. Finalmente, se detallan las Referencias Bibliográficas utilizadas.

## METODOLOGÍA

### Obtención y generación de información visualizada en el geoportal

Para la realización de este trabajo, se han obtenido la información geográfica, así como la información alfanumérica de los BIC de Extremadura que estaban declarados hasta el año 2016 inclusive, en formato shapefile, del registro encargado por la Dirección General de Bibliotecas, Museos y Patrimonio Cultural y que es proporcionado por la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura, IDEEX (Junta de Extremadura, 2017). Dicha información se ha obtenido tras una petición debido a que la información publicada en el directorio de servicios del IDEEX, se encuentra en formato WMS o WFS. La información alfanumérica asociada a la información geográfica proporcionada, tenía tantos registros como BIC tenía Extremadura: 204 registros en una tabla.

Se ha generado una capa vectorial con los BIC de la provincia de Cáceres en el cliente GIS de software libre y gratuito, QGIS. En primer lugar, se han escogido de entre los BIC de Extremadura, los pertenecientes a la provincia de Cáceres. A continuación, se ha modificado la información alfanumérica descrita en el apartado anterior, a través de diversas operaciones de uniones de tabla y además corrigiendo erratas en el nombre de algunos BIC y completándola para que contenga columnas nuevas con una observación acerca de cada uno de ellos. La mayor parte de la información mostrada en esa columna observación, se ha obtenido de la página web de turismo del Gobierno de Extremadura (Dirección General de Turismo de la Consejería de Economía e Infraestructuras Junta de Extremadura, 2017). Además, se ha añadido una nueva columna para que contenga enlaces a una página web, financiada por la Diputación Provincial de Cáceres, donde se muestra información de alguno de los BIC de Cáceres, así como un recorrido virtual en 360º realizado a través de Adobe Flash player (Naranjo et al., 2013).

Se ha creado, también, un estilo de simbología elaborada para este trabajo, a partir de imágenes de descarga gratuita y se ha configurado el estilo categorizado en la que se muestra la capa de BIC en función del tipo que sea. De esta forma se aprecian las distintas categorías: Colección de Bienes Muebles, Conjunto Histórico, Lugar de Interés Etnológico, Monumento, Patrimonio Inmaterial, Sitio Histórico y Zona Arqueológica. En la Figura 1, se muestra una captura del proceso de elaboración de esta capa vectorial descrita, en el cliente GIS QGIS.

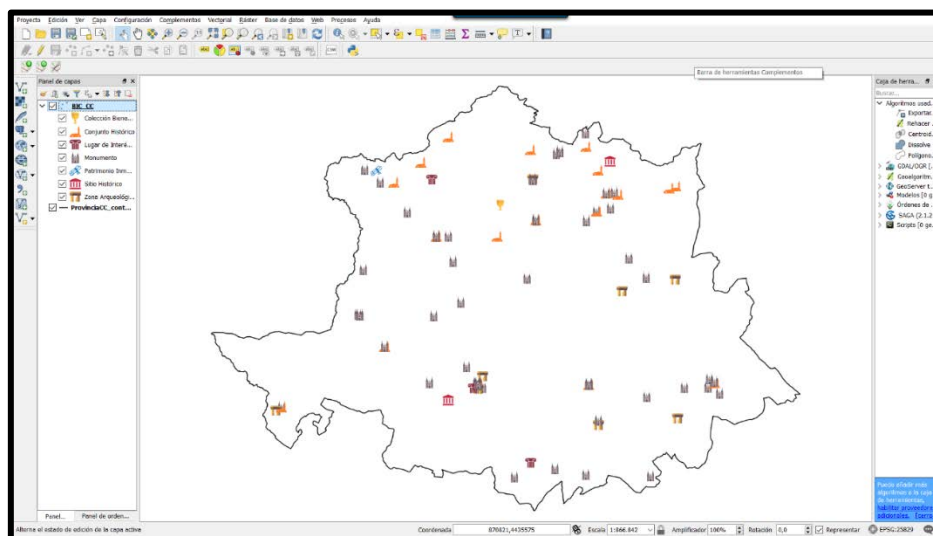


Figura 1 . Elaboración capas vectoriales en QGIS

En la Figura 2, se muestra un ejemplo de la información alfanumérica que se ha completado para trabajar en QGIS, pudiendo verse desde la tabla de atributos de una capa en formato shapefile y cuyos datos se verán en la interfaz del geoportal. Se pueden apreciar las columnas añadidas de observaciones, donde se encuentra el comentario de cada BIC que aparecerá en la ventana emergente del geoportal y la que lleva como cabecera `url_id`, que permite construir la URL que enlaza desde el geoportal, al artículo correspondiente de la página web mencionada anteriormente.

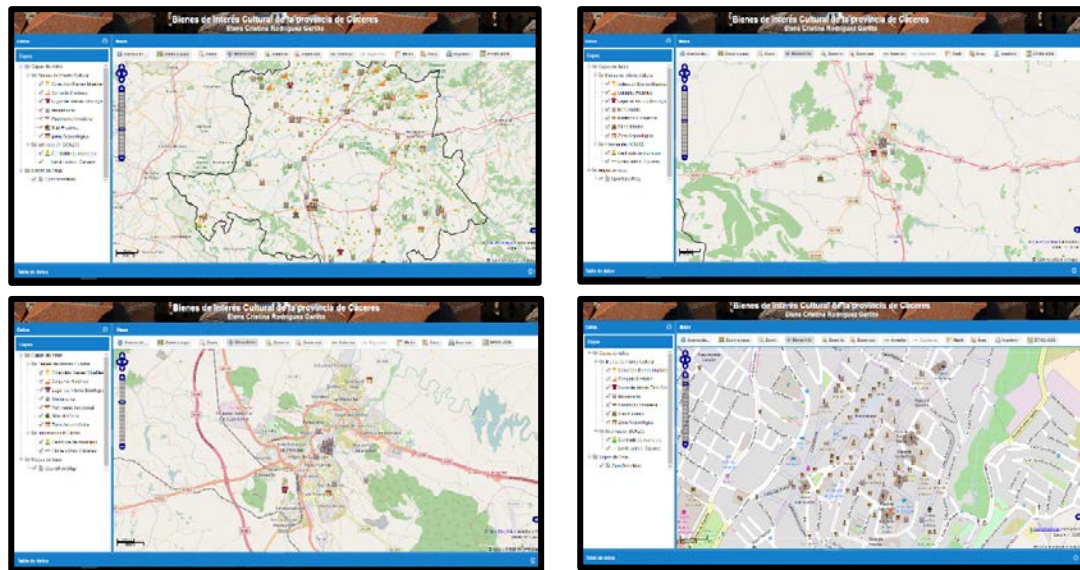
Provincia	Municipio	Tipo_BIC	Declaración	Publicación	Nombre	xcoord	ycoord	id	url_id	Estado	Observ1	Observ2
Cáceres	Abadía	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Jardín Palacio Duques de Alba	757285.93938	4461114.05697	2	824	Declarado	Se construyó...	
Cáceres	Abadía	Monumento	2012/04/27	2012/04/27	Convento de la Bien Parada	758898.33405	4460248.19849	1	824	Declarado	Es del siglo X...	
Cáceres	Abadía	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Palacio de los Duques de Alba	757213.27977	4460899.64721	3	824	Declarado	Fortaleza utili...	a.
Cáceres	Alcántara	Monumento	1914/03/16	1914/03/16	Convento de San Benito	681312.04758	4398885.78621	4	834	Declarado	Los Reyes Cat...	
Cáceres	Alcántara	Monumento	1924/08/13	1924/08/13	Puente de Alcántara	680630.28744	4399078.37110	6	834	Declarado	Es una de las ...	
Cáceres	Alcántara	Monumento	1987/05/08	1987/05/08	Iglesia Sta. María de Almoçóvar	681075.01364	4398866.88763	5	834	Declarado	Iglesia que pe...	
Cáceres	Alcañazar	Monumento	1983/10/05	1983/10/05	Basílica Hispano-Visigoda de Santa Lucía	740000.57738	4337406.80098	7	860	Declarado	Es uno de los ...	encuadrados.
Cáceres	Almoharín	Monumento	1978/10/27	1978/10/27	Iglesia del Salvador de Almoharín	755345.56761	4340538.16572	8	887	Declarado	Se trata de u...	
Cáceres	Arroyo de la Luz	Monumento	1981/08/20	1981/08/20	Iglesia Ntra. Sra. de Asunción de Arroyo...	707712.11626	4373278.05582	9	893	Declarado	De estilo gótic...	
Cáceres	Arroyomolinos	Lugar de Inter...	2013/12/17	2013/12/17	Conjunto de molinos	746255.00000	4342807.00000	10		Declarado	El origen se c...	
Cáceres	Bañoz de Mon...	Monumento	1995/01/10	1995/01/10	Bañoz	767019.12808	4467980.20570	11	898	Declarado	Bañoz que pe...	
Cáceres	Belvís de Mon...	Monumento	1976/02/03	1976/02/03	Iglesia de Santiago Apóstol de Belvís de...	790073.46885	4413268.79290	12		Declarado	Su construcci...	encia mudéjar.
Cáceres	Berzocana	Monumento	1977/10/28	1977/10/28	Iglesia de Santa Florentina o de San Ju...	804594.66970	4371366.67561	13		Declarado	Las reliquias ...	
Cáceres	Bonalval de Ibor	Zona Arqueol...	1931/06/03	1931/06/03	Ruinas Romanas Talavera la Vieja	801151.60300	4412253.23304	14	902	Declarado	Es la antigua ...	
Cáceres	Brozas	Conjunto Hist...	2016/09/13	2016/09/13	Conjunto Histórico de Brozas	690622.00000	4387024.00000	15	913	Declarado	Con trama ut...	
Cáceres	Brozas	Monumento	1988/11/11	1988/11/11	Iglesia Parroquial Asunción de Brozas	690585.62629	4387041.59299	16	913	Declarado	Se levantó po...	e bóveda de c...
Cáceres	Cabezuela del...	Conjunto Hist...	1998/04/21	1998/04/21	Conjunto Histórico de Cabezuela del Valle	771732.41713	4453956.62253	17	916	Declarado	Situado en el ...	y edificios reli...
Cáceres	Cáceres	Monumento	1930/08/25	1930/08/25	Murallas de Cáceres	726179.21266	4372649.02716	31	920	Declarado	Construido po...	rimonio de la ...
Cáceres	Cáceres	Zona Arqueol...	1931/06/03	1931/06/03	Ruinas romanas de Cáceres el Viejo	727863.29484	4375486.37238	42	920	Declarado	Yacimiento ar...	
Cáceres	Cáceres	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Casa de las Violetas	726212.92871	4372534.06369	18	920	Declarado	Data del siglo ...	
Cáceres	Cáceres	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Palacio de los Gólfines de Abajo	726228.81391	4372686.39774	37	920	Declarado	Posee dos est...	urante su vist...
Cáceres	Cáceres	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Casa Mudéjar de la Cuenta de Aldana	726086.65727	4372624.82031	21	920	Declarado	Data del s. XI...	
Cáceres	Cáceres	Monumento	1931/06/03	1931/06/03	Iglesia Concatedral de Santa María	726228.34624	4372738.46105	28	920	Declarado	Realizado co...	crucería gótic...
Cáceres	Cáceres	Monumento	1949/01/21	1949/01/21	Convento San Francisco	726207.07320	4372636.86024	25	920	Declarado	Se construyó ...	

Figura 2 . Captura de ejemplo de la tabla de información alfanumérica que contiene la capa BIC

En el geoportal, aparece un mapa de base directamente obtenido en tiempo real desde el servidor WMS de Open Street Map. Open Street Map es un mapa del mundo creado de forma colaborativa y puede usarse de forma libre al contar con una licencia abierta. La tecnología usada para elaborar el geoportal, OpenLayers, incluye funciones propias para utilizar capas de Open Street Map directamente.

El sistema de proyección de Open Street Map es EPSG: 4326, que corresponde con WGS84 Geográficas, y como se ha usado de capa base para visualizar encima de ella los BIC, las demás capas que se ven en el geoportal están publicados en el mismo sistema de proyección.

Con esta capa, se permite conforme se hace zoom en el geoportal, observar distinta información, desde vías de comunicación, ríos, núcleos de población hasta calles, servicios..., consiguiendo así contextualizar más el lugar donde están geoposicionados los BIC. A continuación, en la Figura 3, se muestra un ejemplo de lo visualizado en el geoportal gracias a esta cartografía base de Open Street Map.



**Figura 3.** Ejemplo de visualización de la capa base de OpenStreetMap a distinto zoom

También se pueden activar y desactivar capas de los centroides de los municipios de la provincia de Cáceres y del contorno de la misma. Estas capas vectoriales se han obtenido a partir de la Base Cartográfica Nacional a escala 1:200.000 (BCN 200), obtenidas del centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica.

Para este trabajo se ha recopilado una galería de 108 fotografías, una por cada BIC visualizado en el geoportal y que han sido almacenadas en el servidor web del geoportal para que puedan ser mostrados en él a través de la ventana emergente de información.

### Despliegue del geoservidor

Se ha optado por escoger GeoServer como tecnología para el despliegue de un geoservidor, por su rapidez de descarga de archivos, además de por su carácter Open Source y software gratuito. Para comenzar a trabajar con el geoservidor, ha sido necesario llevar a cabo la instalación y configuración del mismo. En primer lugar, se ha descargado GeoServer desde su web oficial (Open Source Geospatial Foundation, s.f.) en su versión "Stable", que es la recomendada para sistemas en producción.

En este caso, se instaló inicialmente la versión 2.10.1, que era la versión estable en ese momento. Durante la realización del trabajo, GeoServer actualizó su versión a la 2.11.0 que incluía bastantes mejoras a la hora de personalizar las leyendas y otros detalles a la hora de consultar el WMS o WFS. Para este trabajo, se ha instalado GeoServer en su versión para Windows ya que es el entorno de trabajo con el que se contaba. En esta misma máquina, GeoServer convive junto con el servidor web necesario para mostrar el geoportal.

Una vez instalado, al arrancar el servicio de GeoServer, este funciona por defecto en el puerto 8080 de nuestra máquina local, quedando accesible desde <http://localhost:8080/geoserver> o bien la dirección IP de la máquina en la red local. De igual forma, como se comentará en el apartado de Funcionalidades del geoservidor desplegado, también se ha subido al servidor del Grupo de Investigación Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura: <http://imsturex.unex.es:8080/geoserver>.

Dentro de GeoServer, el primer paso que se ha llevado a cabo, ha sido crear el espacio de trabajo (workspace) y el almacén de datos (data store) con las capas (Layers) que queremos publicar en el geoportal.



En este trabajo hemos denominado de la siguiente forma:

- Workspace: TFM
- Store Name: TFMStore.
- Layers: se han añadido, como muestra la Figura 4:
  - BIC\_CC: es la capa que se va a visualizar en el geoportal y que permite ver la información geográfica de los BIC de la provincia de Cáceres, categorizados.
  - CC: permite ver el contorno de la provincia de Cáceres.
  - LímiteMuniCC: muestra los límites administrativos de los municipios de la provincia de Cáceres.
  - MuniCC: permite la visualización de los centroides de los municipios de la provincia de Cáceres.

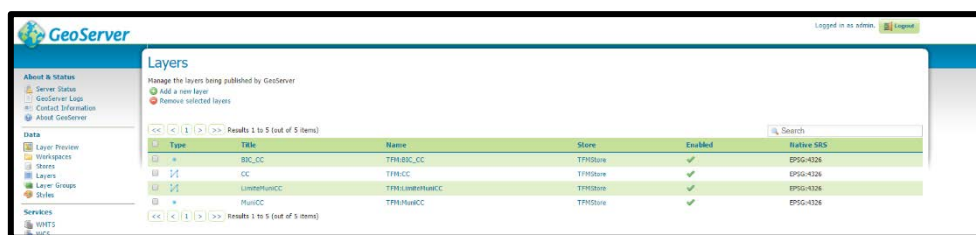


Figura 4. Listado de capas almacenadas en GeoServer

Cada una de las capas añadidas, se han editado dentro de GeoServer, señalando el sistema de coordenadas de referencia nativo y al que se ha querido que se reprojecten para que se visualicen en el geoportal. Además, se ha editado la forma en la se quiere que se publiquen los servicios ofrecidos con el geoservidor, de tal forma que se ha importado la leyenda de simbología para cada tipo de BIC (la que se creó en QGIS exportada en formato SLD). Esta leyenda será la que se muestre en el geoportal. A continuación, se muestra un esquema de lo descrito en este apartado:

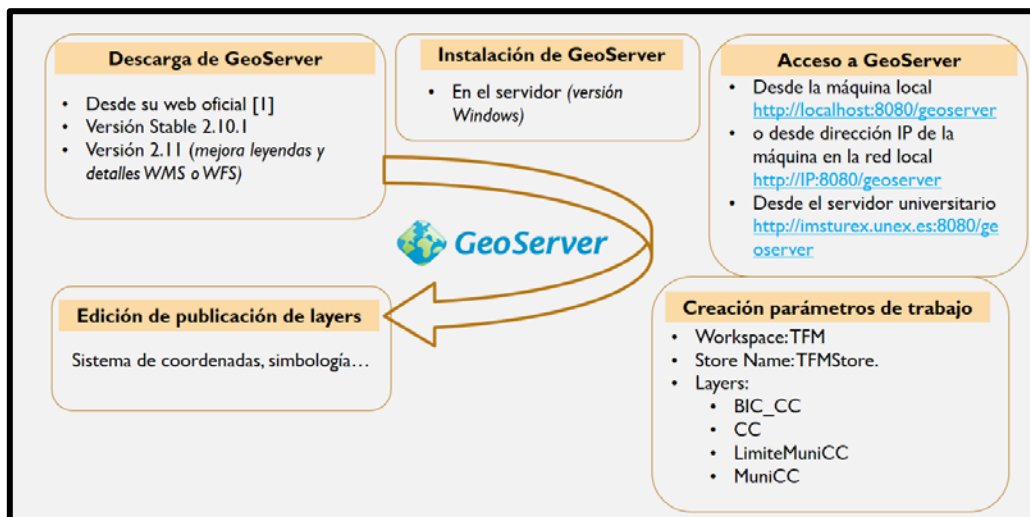


Figura 5. Esquema del despliegue del geoservidor

## Desarrollo y despliegue del geoportal

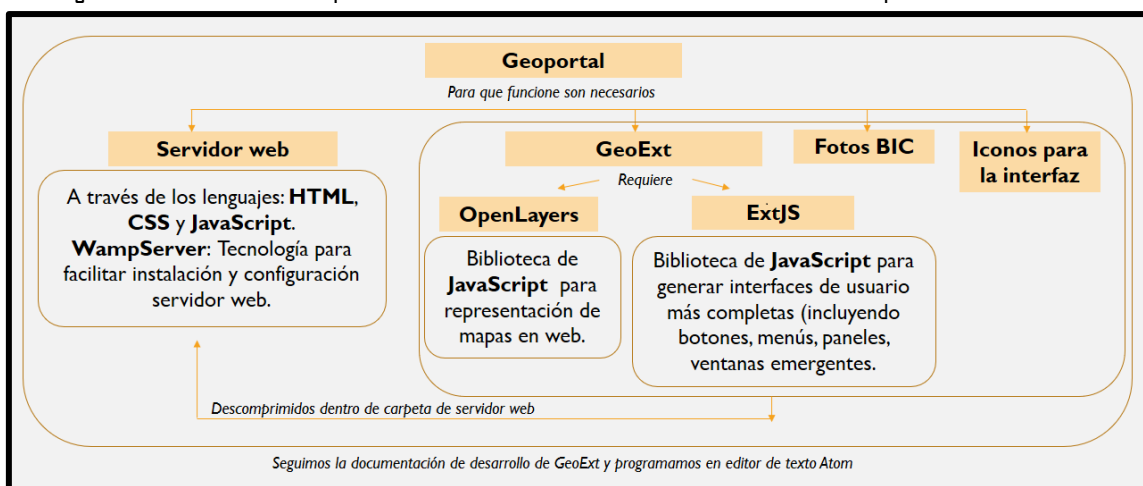
Para que funcione el geoportal, se ha optado por las tecnologías de OpenLayers + GeoExt por permitir la creación de portales GIS mucho más completos, gracias al uso que hace de la librería ExtJS, para desplegar

aplicaciones web, enriquecidas con menús, paneles, barras de herramientas, etc. Han sido necesarios desplegar (instalar y configurar):

- Servidor web: es un servicio que sirve para mostrar páginas web de tal forma que se puede acceder desde cualquier punto del mundo (si se da acceso público) a contenidos web. Estos contenidos web pueden estar desarrollados en diferentes lenguajes, de las cuales, en este trabajo se utilizan HTML, CSS y JavaScript. La tecnología elegida para facilitar la instalación y configuración del servidor web ha sido WampServer (Bourdon, s.f.).
- OpenLayers: esta librería JavaScript, permite la representación de mapas en una web. Se ha descargado de forma gratuita, desde su web oficial (OpenLayers, s.f.), y se ha descomprimido dentro de la carpeta del servidor web.
- ExtJS: esta librería JavaScript permite generar interfaces de usuario más completas, incluyendo botones, menús, paneles, ventanas emergentes, etc. Para utilizarla, al igual que OpenLayers, ha bastado con descargarla de su web oficial (Sencha, s.f.) y descomprimirla dentro de la carpeta del servidor web.
- GeoExt: esta tecnología cuenta con dos requisitos fundamentales, que son los dos anteriores, OpenLayers y ExtJS. De igual forma que los anteriores, para poder utilizarlo, se ha descargado de su web oficial (GeoExt, s.f.) y se ha descomprimido dentro de la carpeta del servidor web.
- Iconos para la interfaz: para hacer más vistosos los botones de la interfaz del geoportal, se ha utilizado un pack de iconos gratuito (James, s.f.) que se han extraído dentro de una carpeta del servidor web para ser utilizado en el desarrollo de la interfaz del geoportal.
- Imágenes: dentro del servidor web también se han almacenado las fotografías de los BIC de Cáceres que aparecerán en el geoportal.

Una vez se han desplegado todos los requisitos previos, se ha utilizado un editor de texto orientado a desarrolladores, también Open Source y gratuito, llamado Atom (GitHub, s.f.) y se ha seguido la documentación de desarrollo de GeoExt.

En la Figura 6, se muestra un esquema-resumen de lo descrito anteriormente en este apartado:



**Figura 6.** Tecnologías necesarias para el despliegue del geoportal

Se han llevado a cabo una serie de pasos para desarrollar el geoportal, de forma que pueda ser explotado satisfactoriamente y con una interfaz amigable al usuario, pues el éxito del mismo se verá reflejado en la buena interacción entre el usuario y los servicios ofrecidos con connotación geográfica (Jiménez, Yépez, & Vázquez, 2014):

- Web HTML base: para que el geportal, que ha sido desarrollado fundamentalmente en lenguaje JavaScript, pudiera funcionar, se ha requerido de una web base desde la que lanzar el script. La funcionalidad de esta web ha sido poco más que establecer el título que se verá en el navegador web, Figura 7, y lanzar el fichero JavaScript que contiene el código del geportal.

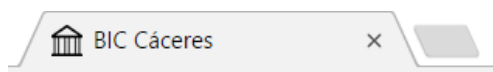


Figura 7. Pestaña de navegador

- Interfaz del geportal: el primer paso para el desarrollo del propio geportal, ha consistido en la definición, mediante código, de los diferentes paneles, barras de herramientas, menús, botones y el resto de elementos que contiene la interfaz. Una vez finalizado este paso, se cuenta con una aplicación web, cuya interfaz está vacía y que se ha dotado de funcionalidad, según se explica en el siguiente paso.
- Implementación de funciones del geportal: este paso comprende todo el desarrollo de programación, en JavaScript utilizando la librería GeoExt, para dotar de funcionalidad cada elemento de la interfaz (botones, paneles, etc.) y así al geportal de contenido. Este paso, junto con el anterior, han supuesto, aproximadamente, 700 líneas de código JavaScript.

Se muestra en la Figura 8, un esquema- resumen de los pasos para desarrollar el geportal:

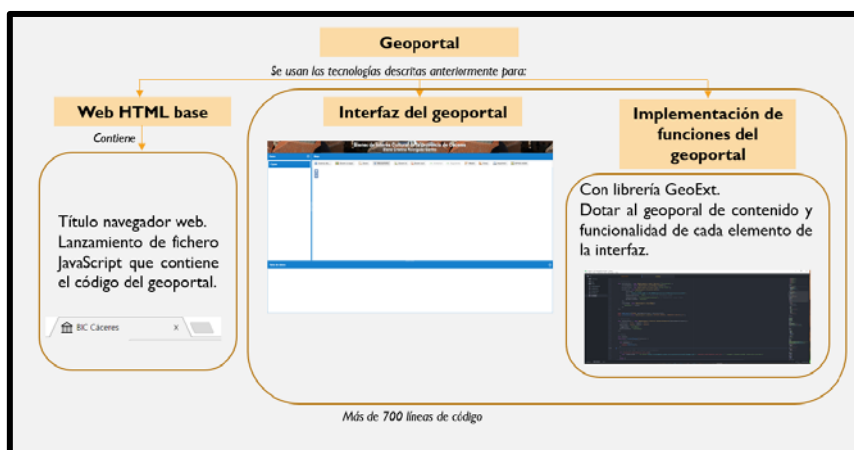


Figura 8. Esquema de uso de tecnologías para el despliegue del geportal

## RESULTADOS

### Funcionalidades del geoservidor desplegado

El hecho de tener el geoservidor configurado de la forma adecuada, nos permite disponer de los servicios estándar publicados, WMS y WFS. Con el servicio WMS, se tiene una imagen con información geográfica, en la que se permiten ver las capas BIC\_CC, CC, LimiteMuniCC y MuniCC en formato ráster. En cambio, con el servicio WFS, se ofrecen dichas capas en formato vectorial, permitiendo acceder a sus geometrías y a sus datos alfanuméricos, pudiendo crear elementos nuevos, borrarlos o actualizarlos. Estos servicios están disponibles en el geoservidor de forma local en las direcciones siguientes:

- Servicio WMS: <http://localhost:8080/geoserver/TFM/wms>
- Servicio WFS: <http://localhost:8080/geoserver/TFM/wfs>

## Publicación de datos de los Bienes de Interés Cultural de la Provincia de Cáceres en un geoportal

Las direcciones especificadas apuntan a la máquina local (localhost) en la que se ha trabajado, por lo que para que el geoservidor y el geoportal sean accesibles de forma pública, se ha desplegado, además, en el servidor del Grupo de Investigación Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura. Los servicios ofrecidos por el geoservidor están disponibles, en dicho servidor, en las direcciones:

- Servicio WMS: <http://imsturex.unex.es:8080/geoserver/TFM/wms>
- Servicio WFS: <http://imsturex.unex.es:8080/geoserver/TFM/wfs>

Estos servicios permiten que, desde cualquier cliente GIS, se pueda acceder a ellos para ver y trabajar con la información que tiene publicada de tal forma que se puedan utilizar como capas para un nuevo proyecto, hacer mapas, etc. En la Figura 9, se muestra como desde QGIS se está conectando al servicio WFS ofrecido por el geoservidor. Del mismo modo, se podría conectar al servicio WMS, "añadiendo capa WMS desde un servidor".

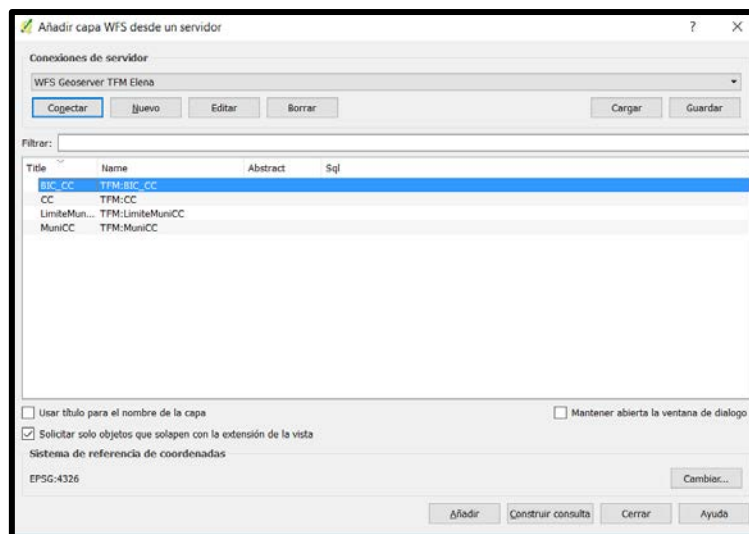


Figura 9. Conexión al servicio WFS ofrecido desde el geoservidor

GeoServer se integra perfectamente con OpenLayers, ofreciendo, por ejemplo, la visualización de capas en formato OpenLayers desde su interfaz. Para ello, desde el menú previsualización de capas de la interfaz de Geoserver, si seleccionamos de la columna Common Formats, la opción OpenLayers de la capa BIC\_CC, como muestra la Figura 10, obtendríamos la previsualización que se muestra en la Figura 11. En esta previsualización, se muestra todo lo contenido en la capa, tanto los puntos de los BIC con su simbología correspondiente, como su información alfanumérica. De esta manera, se puede comprobar que la información que se ha subido a GeoServer y la que se mostrará en el geoportal es correcta.

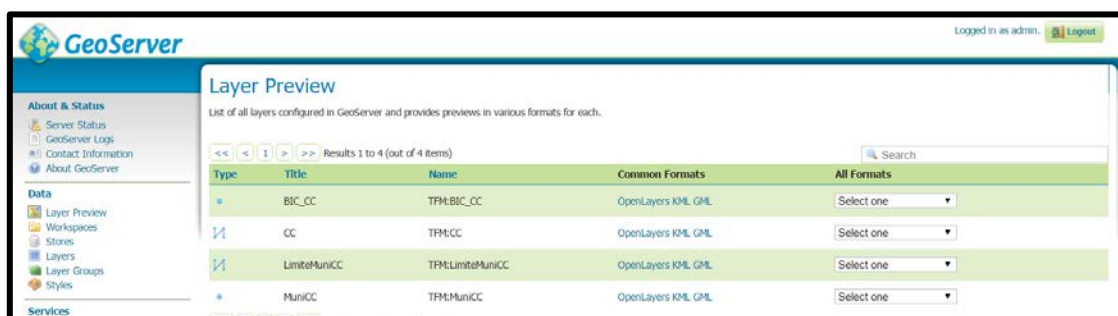


Figura 10. Previsualización de capas en GeoServer

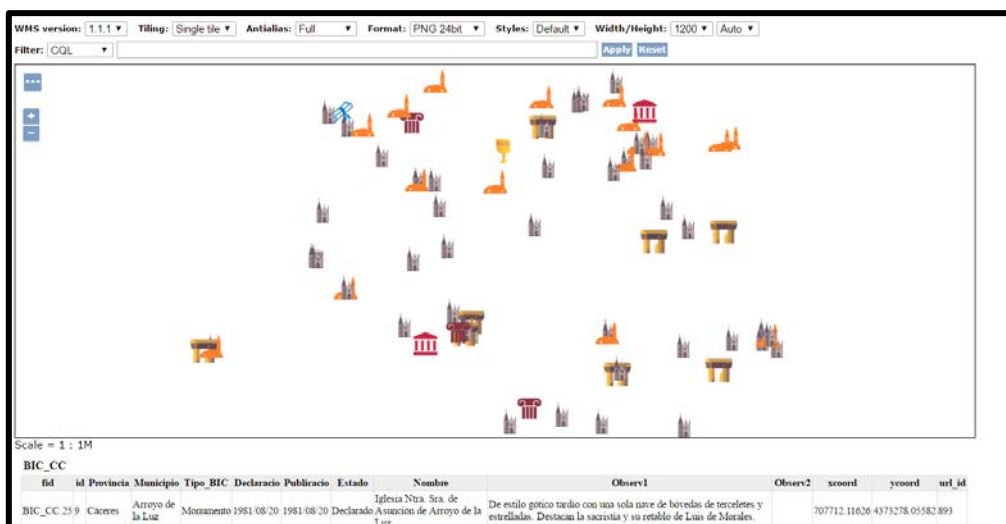


Figura 11. Previsualización OpenLayers desde Geoserver de la capa BIC\_CC

## Funcionalidades del geoportal desplegado

El geoportal se ha desplegado también en un servidor de manera que es accesible en un dominio público. La dirección por la que se accede a él es: <http://imsturex.unex.es/bic>

A continuación, se describen la interfaz del geoportal desarrollado y las funcionalidades que ofrece. Estas funcionalidades se han programado en JavaScript, usando la librería de GeoExt (Openlayers+ExtJS). Está estructurado de la siguiente forma:

- Barra de título: que incluye el nombre de la web "Bienes de Interés Cultural de la provincia de Cáceres", el nombre del autor que ha desarrollado este trabajo como TFM del Máster TIG: "Elena Cristina Rodríguez Garlito" y una imagen de fondo que se ha elegido de cubiertas de edificaciones de la ciudad de Cáceres, como muestra la siguiente Figura 12.

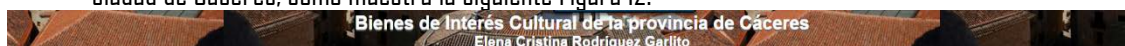


Figura 12 Barra de título del geoportal

- En el panel Mapa, se incluyen:
  - Una barra de herramientas con los controles: Acerca de...; Zoom a la capa; Zoom; Mover/Info; Zoom in; Zoom out; Anterior; Siguiente; Medir; Área; Imprimir y una etiqueta que muestra el sistema de proyección del mapa EPSG: 4326.
  - Un visor de las diferentes capas mostradas en el geoportal. Este visor incluye los siguientes controles: barra de navegación, barra de zoom, escalas gráfica y numérica, minimapa y la posición del cursor en el mapa.
- El panel Datos contiene un panel Capas que incluye todas las capas que se pueden visualizar en el geoportal, organizadas según tres carpetas que pueden desplegarse:
  - Bienes de Interés Cultural, que contiene los distintos tipos de BIC (Colección Bienes Muebles, Conjunto Histórico, Lugar de Interés Etnológico, Monumento, Patrimonio Inmaterial, Sitio Histórico y Zona Arqueológica).
  - Información BCN200, que presenta dos capas realizadas a partir de la cartografía BCN 200: Centroides de municipio y Límite admin. Cáceres.

## Publicación de datos de los Bienes de Interés Cultural de la Provincia de Cáceres en un geoportal

- Mapas de base, en donde se muestra la capa base OpenStreetMap.
- En el panel Tabla de datos se incluye un filtro de búsqueda por nombre de BIC, y una tabla que muestra todos los atributos de los mismos. Esta tabla puede ordenar los registros por orden alfabético de la columna que se seleccione, así como elegir las columnas que quieren visualizarse u ocultarse, todo ello desde la cabecera de cada columna. También posibilita el acceso a más información que se ofrece en otra página web, al pinchar en el enlace facilitado en la cabecera "Más info".
- En la ventana emergente (PopUp) que aparece en el panel Mapa, ya sea cuando se hace clic en un BIC en el mapa o en la Tabla de datos, se muestra una ficha descriptiva del BIC seleccionado, que incluye una fotografía y una descripción del mismo.
- En la ventana emergente (PopUp) que aparece en el panel Mapa, cuando se pincha sobre un punto de la capa que representa los centroides de los municipios, se muestran los nombres de los mismos.

En la Figura 13 puede verse la interfaz del geoportal capturado en un instante en el que se le ha dado a un registro de la Tabla de datos de un punto concreto BIC y en el que aparece la Ventana emergente PopUp con Ficha descriptiva de cada BIC.

The screenshot shows the 'Bienes de Interés Cultural de la provincia de Cáceres' geoportal. The interface is divided into several sections:

- Mapa:** A map of the province of Cáceres with various BIC markers. A pop-up window for 'Lavadero de los Barruecos' is displayed, showing a photograph and a description: 'Es un ejemplo de arquitectura industrial, con un esquema de aprovechamiento integral formado por distintos niveles interconectados (nave del esquila y pesaje de lana, sala de esquila o añilado, sala de caldera, rueda de lavado, molino, fuente...). Durante el siglo XIX trabajaban unos 100 operarios y se lavaban más de 80.000 arrobas de lana.'
- Tabla de datos:** A table with columns: Bien de Interés Cultural, Municipio, Provincia, Tipo, Estado, Fecha declaración, Fecha publicación, and Más info. The 'Lavadero de los Barruecos' entry is highlighted.
- Capas de datos:** A list of data layers including 'Bienes de Interés Cultural', 'Colección Bienes Muebles', 'Conjunto Histórico', 'Lugar de Interés Etnológico', 'Monumento', 'Patrimonio Inmaterial', 'Sitio Histórico', 'Zona Arqueológica', 'Información BCN200', 'Centros de municipio', and 'Límite admin. Cáceres'. The 'Mapas de base' section includes 'OpenStreetMap'.

Bien de Interés Cultural	Municipio	Provincia	Tipo	Estado	Fecha declaración	Fecha publicación	Más info
Iglesia Parroquial Asunción de Brozas	Brozas	Cáceres	Monumento	Declarado	11/11/1988	11/11/1988	<a href="#">Web</a>
Iglesia Santa María la Mayor	Trujillo	Cáceres	Monumento	Declarado	27/07/1943	27/07/1943	<a href="#">Web</a>
Iglesia Sta. María de Alrocovar	Alcantara	Cáceres	Monumento	Declarado	08/05/1987	08/05/1987	<a href="#">Web</a>
Immuelle nº 13 de Avenida de España	Cáceres	Cáceres	Monumento	Declarado	30/11/1963	30/11/1963	<a href="#">Web</a>
Jardín Palacio Duques de Alba	Albaida	Cáceres	Monumento	Declarado	03/06/1931	03/06/1931	<a href="#">Web</a>
Lavadero de los Barruecos	Magdalena de Cáceres	Cáceres	Sitio Histórico	Declarado	23/07/1991	23/07/1991	<a href="#">Web</a>
Monasterio de San Jerónimo de Yuste	Cuacos de Yuste	Cáceres	Monumento	Declarado	03/06/1931	03/06/1931	<a href="#">Web</a>
Monasterio del Srmo Cristo de la Victoria	Serradilla	Cáceres	Monumento	Declarado	05/06/1981	05/06/1981	<a href="#">Web</a>

Figura 13. Captura de Interfaz del geoportal desplegado

El geoportal es compatible con plataformas móviles, como muestra Figura 14, una opción que se ha tenido en cuenta durante todo el desarrollo del proyecto como fundamental para lograr la mayor difusión, además de que las tecnologías utilizadas (HTML, CSS y JavaScript) son compatibles con todos los navegadores de las plataformas móviles existentes en la actualidad.

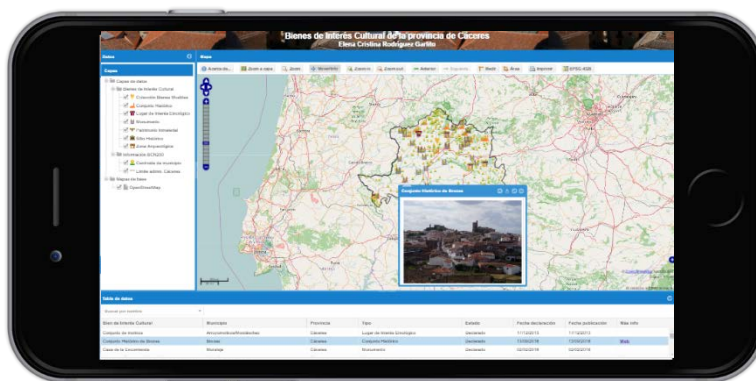


Figura 14. Ejemplo de visualización del geoportal en plataformas móviles

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una gran versatilidad a la hora de poder manejar la información publicada ya que pueden intervenir diferentes tipos de usuarios. Un primer tipo consiste en un usuario final, que accede a través de un navegador web al geoportal, y puede visualizar la información e interactuar a nivel básico con el mapa. Otro tipo sería uno más cualificado, con conocimientos en SIG, que podrían ser investigadores y personal técnico, que pueden acceder a la información desde softwares de escritorio como QGIS o ArcGIS y les permiten trabajar directamente con los datos, conectándose directamente a los servicios (WMS, WFS...) generados desde el geoservidor, pudiendo llevar a cabo estudios más detallados, analizar los datos en profundidad, etc.

Una de las mayores ventajas de haber desplegado un geoservidor es que, además, se puede dar acceso al geoservidor a los usuarios que se quieran de tal manera que se puede ampliar y cambiar la información que se muestra en el geoportal sin mucha dificultad. De esta forma, si se quiere hacer una actualización de los BIC de la provincia de Cáceres, puede hacerse o bien modificando el .SHP en QGIS y volviendo a cargarlo como capa en el geoservidor y que a su vez se actualiza en el geoportal o conectándose desde QGIS al geoservidor, utilizando un usuario con permisos de modificación, para actualizar el dato en concreto.

Durante el desarrollo del trabajo, se encontraron particularidades a la hora de manejar la fuente de datos. Se debía a que existe una limitación del formato dbf (que es la base de datos asociado al fichero SHP) de 254 caracteres para las cadenas de texto (ESRI, 1998). Para evitar esto en versiones futuras, en lugar de tener capas en formato shapefile almacenadas en el geoservidor y las que se podrán visualizar en el geoportal, se consideraría utilizar una base de datos como PostgreSQL con PostGIS que no cuenta con esa limitación de un fichero estándar, pero con esas dificultades como es el SHP. Como líneas futuras, también podría contemplarse la opción de adaptar el geoportal para que pueda verse de forma cómoda en cualquier tipo de pantalla, recolocando los paneles en función del tamaño, utilizando para ello, las posibilidades responsive que ofrece GeoExt.

## CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha querido publicar información geográfica y alfanumérica sobre los Bienes de Interés Cultural de la provincia de Cáceres. Para este fin, se han aprovechado las nuevas tendencias en geovisualización y el surgimiento de la geoweb, mediante la que se muestran contenidos geográficos a través de la red de una manera fácil y accesibles para todos los usuarios de Internet, dando lugar al fenómeno denominado como "democratización" de la información geográfica". Para ello, se ha desplegado un geoportal para poder visualizar

y acceder a dicha información, así como un geoservidor que ha permitido almacenarla y a su vez, ofrece los servicios estándar de representación y obtención de dichos contenidos espaciales y de otra índole.

La información que se visualiza en el geoportal se ha localizado de fuentes oficiales y se ha completado. Se ha contactado con la Dirección General de Bibliotecas, Museos y Patrimonio Cultural de la Junta de Extremadura y a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura, se ha conseguido, en formato shapefile, la información geográfica y alfanumérica de los BIC de Extremadura. De estos datos se han extraído los de la provincia de Cáceres y se ha completado la información de la capa vectorial de los BIC que se quería ofrecer desde el geoservidor y publicar en el geoportal. Además, se han generado otras capas vectoriales del contorno de la provincia de Cáceres, los límites municipales y los centroides de los municipios que forman parte de la misma.

Para desplegar el geoservidor, se ha trabajado con Geoserver, descargándolo previamente e instalándolo en el servidor. En su interfaz, se han creado los parámetros de trabajo, añadiendo las diferentes capas y editando la manera en la que se iban a publicar en el geoportal. Se ha conseguido así, que se tengan disponibles los servicios WMS (<http://imsturex.unex.es:8080/geoserver/TFM/wms>) y WFS (<http://imsturex.unex.es:8080/geoserver/TFM/wfs>), permitiendo a los usuarios el acceso a una imagen con información geográfica de los BIC de la provincia de Cáceres y las capas vectoriales publicadas en el geoportal, respectivamente.

Para desplegar el geoportal, se ha instalado y configurado un servidor web y mediante código programado en JavaScript, se ha diseñado la interfaz del geoportal, dotándola de contenido implementando las funciones que contiene el mismo, a través de la librería de GeoExt. Además, se han añadido los iconos de los botones de la interfaz del geoportal así como las imágenes que muestran cada uno de los BIC. Con todo ello se ha conseguido mostrar un geoportal en la dirección <http://imsturex.unex.es/bic>, con varias funcionalidades: un panel de datos mediante el que se accede a las capas publicadas; un visor que muestra las que están activadas, una barra de herramientas con distintos controles (Zoom, mover, medir, imprimir...); un panel que permite la búsqueda filtrada por nombre de los BIC de Cáceres y que contiene la tabla con toda su información y una ventana emergente a través de la cual se muestra una fotografía y un comentario acerca de cada BIC.

Con todo este trabajo, se han logrado la consecución de los objetivos pues se consigue difundir a través de Internet, los BIC de la provincia de Cáceres y a la vez, "se abre una ventana" a los distintos navegadores de la red, permitiendo también, la descarga de información espacial, para que todo tipo de usuarios puedan tener acceso a los datos y trabajar con ellos en clientes SIG.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, M. J. (2003). El patrimonio cultural como opción turística. *Horizontes Antropológicos*, 9(20), 97-115.
- Bourdon, R. (s.f.). WampServer. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.wampserver.com/en/>
- Buckley, A. R., Gahegan, M., & Clarke, K. (2000). Geographic visualization as an emerging research theme in GIScience. *UCCGIS*.
- Butler, D. (2006). Virtual globes: The web-wide world. *Nature*, 439, 776-778. doi:10.1038/439776a
- Díaz, A.-L. G. (2015). La conservación del Patrimonio Histórico y Cultural en Extremadura: luces y sombras. En Adenex (Ed.), *XXXIV Reunión de asociaciones y entidades para la defensa del Patrimonio Cultural y su entorno*. Trujillo.



- Dirección General de Turismo de la Consejería de Economía e Infraestructuras Junta de Extremadura. (2017). Extremadura Turismo. Recuperado el 20 de marzo de 2017, de <http://www.turismoextremadura.com>
- Elwood, S. (2009). Geographic Information Science: new geovisualization technologies—emerging questions and linkages with GIScience research. *Progress in Human Geography*, 33(2), 265-263.
- Elwood, S. (2011). Geographic Information Science: Visualization, visual methods, and the geoweb. *Progress in Human Geography*, 35(3), 401-408.
- ESRI. (1998). ESRI Shapefile Technical Description. White Paper.
- GeoExt. (s.f.). GeoExt. Recuperado el 13 de marzo de 2017, de <http://geoext.org/>
- GitHub. (s.f.). Recuperado el 27 de diciembre de 2016, de <https://atom.io/>
- Gobierno de Extremadura. (1999). Ley 2/1999, de 29 de marzo, de Patrimonio Histórico Cultural de Extremadura.
- Goodchild. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221. doi:10.1007/s10708-007-9111-y
- Goodchild, Fu, P., & Rich, P. (2007). Sharing Geographic Information: An Assessment of. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(2), 250-266.
- James, M. (s.f.). FAMFAMFAM. Recuperado el 2 de febrero de 2017, de <http://www.famfamfam.com>
- Jiménez, L., Yépez, J., & Vázquez, A. (2014). El usuario como factor de éxito en el diseño de un geoportail. *GeoFocus*(14), 181-210.
- Junta de Extremadura. (2017). Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura. Recuperado el 1 de marzo de 2017, de <http://www.ideextremadura.com/Geoportail/>
- Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. (1985). En A. E. Estado (Ed.).
- Mateos, P. (Universidad de Alicante. Instituto Interuniversitario de Geografía de 2013). Geovisualización de la población: Nuevas tendencias en la web social. 60, 87-100.
- Ministerio de educación, cultura y deporte. (s.f.). Recuperado el 16 de marzo de 2017, de <http://www.mecd.gob.es/cultura-mecd/areas-cultura/patrimonio/bienes-culturales-protegidos/definicion.html>
- Naranjo, J., de San José, J., Gutierrez, J., Sánchez, M., & Díaz, M. (2013). <http://colometa.unex.es/caceresvirtual/>.
- Open Source Geospatial Foundation. (s.f.). GeoServer. Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de <http://geoserver.org/>
- OpenLayers. (s.f.). OpenLayers. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de <https://openlayers.org/>
- O'Reilly, T. (2005). What is Web 2.0? Design patterns and business models por the next generation of software. En *Online Communication and Collaboration*.
- Sencha. (s.f.). Sencha Ext JS. Recuperado el 1 de marzo de 2017, de <https://www.sencha.com/products/extjs/#overview>



# TELEDETECCIÓN Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADAS AL OLIVAR TRADICIONAL

Judit Rubio<sup>1</sup>, Miguel A. Vega<sup>2</sup>, J. Francisco Lavado<sup>3</sup> y Manuel Villar<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Matemáticas. Universidad de Extremadura. 10003, Cáceres; juditrd@unex.es

<sup>2</sup> Departamento de Tecnología de Computadores y Comunicaciones, Universidad de Extremadura.

<sup>3</sup> Departamento de Artes y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura.

<sup>4</sup> NotAnts S.L.U., Avda. de Alemania 3, 1<sup>º</sup>-II. 10005. Cáceres, España.

## RESUMEN

La teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la agricultura de precisión en las últimas décadas. Una aplicación relevante es determinar el estado nutricional de los cultivos a lo largo del ciclo fenológico para optimizar los planes de fertilización. La clorofila (Cl) es un parámetro biofísico que ha presentado relaciones significativas con el nitrógeno (N) en diversos cultivos. El objetivo de este estudio es relacionar el contenido de Cl/N en hoja de cuatro olivares tradicionales con sus etapas fenológicas, estimando los índices MCARI/OSAVI y TCARI/OSAVI a partir de imágenes de satélite Sentinel-2A. Las imágenes fueron analizadas para un periodo de 20 meses (julio 2016–febrero 2018), abordando los diferentes estados fenológicos. Ambos índices indicaron una variación temporal del contenido de Cl/N en los cuatro olivares, pero solo el índice TCARI/OSAVI presentó coincidencias con los periodos de consumo y acumulación de nutrientes del olivo a lo largo del ciclo fenológico. Según el índice TCARI/OSAVI, el contenido de Cl/N fue menor durante los meses de verano y otoño, coincidiendo con la brotación, fecundación, endurecimiento del hueso y maduración del fruto; mientras que el mayor contenido se estimó durante los meses de invierno, coincidiendo con la parada vegetativa.

Palabras Clave: SENTINEL-2A, índices de vegetación, imágenes de satélite, contenido de clorofila, contenido de nitrógeno

## ABSTRACT

Remote sensing has become a fundamental tool for the development of precision agriculture in recent decades. One of the most relevant applications is to determine the crops nutritional status throughout their phenological cycle with the aim of optimizing fertilization plans. Chlorophyll (Chl) is a biophysical parameter that presented significant relationships with nitrogen (N) in diverse crops. The goal of this study is to relate the leaf Chl/N content in four olive groves with the olive-tree phenological stages, estimating TCARI/OSAVI and MCARI/OSAVI indices from Sentinel-2A satellite images. Satellite images from July 2016 to February 2018 were analyzed to address the different phenological stages. Both indices indicated a temporal variation of the leaf Chl concentration index for the four olive groves, however, only TCARI/OSAVI index presented results in accordance with consumption and accumulation periods of nutrients of olive-tree throughout the phenological cycle. Basing on TCARI/OSAVI index, leaf Chl/N concentration was lower during summer and autumn seasons, coinciding with the foliar buds, fruit development and maturity of fruit. Estimated leaf Chl concentration was higher during winter season, coinciding with the harvesting and latency stages.

Key Words: SENTINEL-2A, vegetation indices, satellite images, Chlorophyll content, Nitrogen content

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la agricultura de precisión. Las técnicas de teledetección permiten diferenciar propiedades y características ambientales de las áreas de cultivo a través de la detección, registro y análisis del flujo de energía radiante reflejado o emitido por la superficie del suelo, masas de agua o la propia vegetación (Charlotte Landau et al., 2014). La información proporcionada por los datos obtenidos vía satélite y su carácter periódico permiten estudiar la variabilidad espacial y temporal de las unidades de producción, haciendo posible un manejo de precisión de las explotaciones agrarias.

Las aplicaciones de las imágenes satelitales en agricultura de precisión son múltiples: permiten diferenciar tipos de cultivos a través de la respuesta espectral de la vegetación; conocer el estado de la vegetación (vigorosidad, estrés hídrico, plagas, daños causados por fenómenos atmosféricos, climatológicos o por incendios, etc.); analizar las tendencias y dinámicas de rotación de cultivos; determinar el estado nutricional de las plantas en momentos críticos de su ciclo fenológico; obtener mapas de producción; o analizar parámetros bioquímicos de los cultivos, entre otros (Charlotte Landau et al., 2014). Las limitaciones vienen marcadas por las características técnicas de los sensores: resolución temporal (frecuencia del barrido del sensor de un mismo punto de la superficie terrestre), resolución espacial (tamaño de píxel), resolución espectral (número y ancho de bandas capturadas por el sensor) y resolución radiométrica o dinámica (cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada o procesada posteriormente). Así, en agricultura de precisión, para hacer posible una gestión específica, la resolución espacial debe ser, al menos, de 20 m (Mulla, 2013) y la resolución temporal la mínima posible.

La Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó al espacio en 2015 y 2016 dos sensores multiespectrales de alta resolución (Sentinel-2A y Sentinel-2B), destinados a observar y evaluar cambios en la superficie terrestre: cambios de uso y manejo del suelo, estado de la vegetación, erosión del suelo, incendios, localización y estado de los cuerpos de agua, etc. (Drusch et al., 2012). La disposición gratuita de las imágenes, la alta resolución tanto temporal como espacial, así como la incorporación de dos nuevas bandas (Red-Edge) en el infrarrojo cercano (NIR) han hecho posible que el satélite Sentinel-2 sea el más apropiado para la agricultura de precisión (Clevers y Gitelson, 2013).

En los últimos años, en el sector empresarial agrario, han surgido multitud de entidades especializadas en la Olivicultura de Precisión. El objetivo es conseguir que el olivar sea un cultivo competitivo, independiente de ayudas y subvenciones, obteniendo la máxima rentabilidad posible al mínimo coste. Uno de los principales enfoques de la Olivicultura de Precisión es optimizar el programa de abonado o fertilización en el olivar tradicional, basado, generalmente, en paliar las necesidades nutricionales a lo largo del ciclo vegetativo de los olivos.

El suelo, normalmente, no dispone de suficientes macronutrientes (Nitrógeno, N; Fósforo, P; Calcio, Ca; Potasio, K) y micronutrientes (Zinc, Zn; Boro, B) para sufragar la demanda de una planta perenne a lo largo de todas sus etapas fenológicas (San Eufrasio Rodríguez et al., 2017). Por ello, generalmente, los programas de fertilización desarrollados para el olivar se basan en aportar los nutrientes esenciales para el correcto desarrollo de las plantas: N, K y P.

El N es el nutriente más importante en el crecimiento de las plantas, por ser el que se encuentra en mayor proporción, entre el 1 y el 3% respecto a su materia seca en función de la especie, de la etapa fenológica, etc. (Cárdenas-Navarro et al., 2004). Además, es esencial porque contribuye a la producción de clorofilas, proteínas y ácidos nucleídos (Sánchez-Mora et al., 2016). Así, el N es el principal elemento mineral utilizado en la fertilización

agrícola. Entre 2002 y 2014 se consumieron en la agricultura a nivel mundial más de 1.200 millones de toneladas de N, frente a los 500 y 400 millones de toneladas de P y K, respectivamente. En este periodo, el consumo de N se incrementó en un 32% (FAOSTAT, 2017). Su aplicación excesiva está generando serios problemas no solo en el sector agrícola, como el incremento infructuoso de los costes de producción, sino también en el medio ambiente con la contaminación de acuíferos por lixiviación del N no absorbido por las plantas o degradación de la calidad del suelo por salinidad (ensalitramiento). Ante esta situación, es necesario contar con tecnologías aplicables a la gestión razonada del N en los sistemas de producción agrícola (Cárdenas-Navarro et al., 2004).

En este ámbito, la agricultura de precisión pretende diagnosticar de manera indirecta las necesidades de N en las plantas a través de la información proporcionada por las imágenes de satélite. El N no absorbe la radiación electromagnética por sí mismo, por lo que el estado nitrogenado de los cultivos se asocia a la respuesta espectral de la Clorofila (Cl), la cual contiene el 70% del N presente en las hojas (Mercado Luna, 2010; Cárdenas-Navarro et al., 2014). La Cl es el principal pigmento responsable de las propiedades de la reflectancia y transmitancia de la radiación en el espectro visible (VIS) y tiene una estrecha correlación con el contenido de N en las hojas de las plantas en el rango de 550nm a 660nm (Curran, 1989). Dicha correlación ha sido demostrada por diversos autores (Peterson et al., 1988; Vos y Bom, 1993; Yoder y Pettigrew-Crosby, 1995; Oppelt y Mauser, 2004; Baret et al., 2007) y, por ello, se han desarrollado numerosos índices de vegetación que estiman el contenido de Cl o de N en los cultivos (Clevers y Kooistra, 2012; Raymond Hunt Jr. et al., 2013): CVI (Chlorophyll Vegetation Index), Cl<sub>red-edge</sub> (Chlorophyll Red-Edge), Cl<sub>green</sub> (Chlorophyll Green), REP (Red-Edge Inflection Point), MTCl (MERIS total chlorophyll index), MCARI/OSAVI (Modified Chlorophyll Absorbtion in Reflectance Index/Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), TCARI/OSAVI (Transformed Chlorophyll Absorbtion Ratio Index/Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), CCCl (Canopy Chlorophyll Content Index), LCl (Leaf Chlorophyll Index), entre otros.

Haboudane et al., (2002), Wu et al. (2008) y Clevers y Kooistra (2012) han demostrado que los índices TCARI/OSAVI y MCARI/OSAVI son índices combinados que reducen la influencia del suelo en la respuesta espectral de la copa de los árboles, mejorando la correlación entre el contenido real de N en las hojas y el estimado por el índice en cultivos con arbolado disperso como es el caso del olivar.

El objetivo de este estudio es relacionar el contenido de Cl/N en olivos con sus etapas fenológicas usando imágenes satelitales del sensor Sentinel-2A para estimar los índices TCARI/OSAVI y MCARI/OSAVI. Determinar las etapas en las que el olivo consume o acumula N supone disponer de una información valiosa para tomar decisiones a la hora de desarrollar un programa de fertilización eficiente en este tipo de cultivos.

## ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en cuatro parcelas destinadas al cultivo tradicional del olivo: P1, P2, P3 y P4 (Figura 1). P1 (18,0 ha) está ubicada en el término municipal de Carmonita (39°14'05" N, 6°37'00" W), P2 (40,0 ha) en Mérida (39°12'40" N, 6°48'00" W), y P3 (6,6 ha) y P4 (3,4 ha) en Cordobilla de Lácara (39°13'25" N, 6°41'35" W - 39°11'35" N, 6°44'86" W, respectivamente). Las características topográficas y la densidad de olivos por hectáreas se muestran en la Tabla 1.

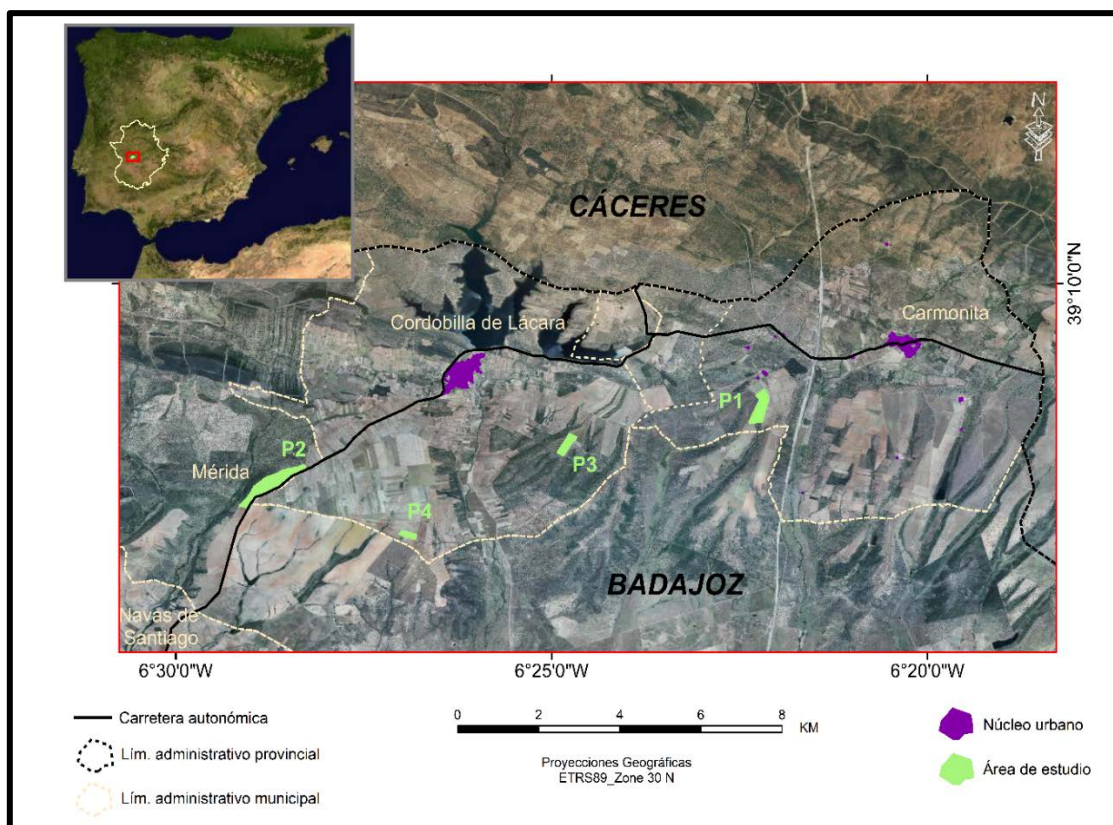


Figura 1. Localización de las áreas de estudio.

Tabla 1. Características topográficas de las parcelas y densidad de olivos/ha en las cuatro áreas de estudio (P1, P2, P3 y P4).

	P1	P2	P3	P4
Superficie (m <sup>2</sup> )	180.420	403.560	66.403	34.128
Elevación media (m)	380	340	356	337
Pendiente media (%)	1,3	2,5	1,3	1,1
Orientación (°)	201 (S)	180 (S)	214 (S)	178 (S)
Olivos/ha	185	100	105	140

En base a la cartografía geológica de Extremadura 1:25.000 (CICTEX, 1987), P1 se desarrolla sobre pizarras y grauwacas del complejo esquisto-grauváquico y sobre pizarras grises del Devónico, P2 y P4 sobre rañas del Plioceno, y P3 sobre materiales coluviales y rañas del Plioceno. Las cuatro parcelas presentan suelos con una litología compuesta por arenas y arcillas (cartografía litológica de Extremadura 1:25.000; CICTEX, 1987) y han sido clasificados como acrisoles según la FAD (cartografía edafológica de Extremadura 1:25.000; CICTEX, 1990). Así, los suelos de las áreas de estudio se caracterizan por tener un mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en las capas superficiales, como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcillas) que llevan a un horizonte árgico en los horizontes más profundos. Los acrisoles tienen en determinadas profundidades una baja saturación de bases y arcillas de baja actividad (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

## METODOLOGÍA

La estimación del contenido de C/N en los cuatro olivares se llevó a cabo calculando los índices medios mensuales TCARI/OSAVI y MCARI/OSAVI para el periodo comprendido entre el mes de julio de 2016 y el mes de febrero de 2018, ya que a lo largo de los 20 meses se abordan todos los estados fenológicos del olivo (Tabla 2). Para ello se utilizaron imágenes de satélite del sensor Sentinel-2A.

**Tabla 2.** Estados fenológicos del olivo. La información es orientativa, ya que dependiendo de la especie y de las condiciones climatológicas y edáficas las etapas pueden presentar variaciones temporales (Sanz-Cortés, et al., 2002).

MES	ESTADO FENOLÓGICO	DESCRIPCIÓN	CONSUMO/ ACUMULACIÓN DE N
Marzo	Brotación	Al final del invierno comienza la nueva brotación. Las yemas pueden evolucionar a brotes vegetativos (forman nuevos tallos con hojas y yemas) o a brotes de flor en forma de racimos florales.	Consumo
Abril			
Mayo	Floración/ Fecundación/ Crecimiento nuevos brotes	La floración, generalmente, se produce a mediados de mayo y suele durar unas tres semanas. Tras la fecundación el olivo pierde las flores. Por otro lado, los brotes nuevos del año siguen creciendo.	
Junio	Cuajado/ Crecimiento nuevos brotes/ Crecimiento rápido del fruto	A finales de mayo/principios de junio el olivo criba los frutos que han cuajado, desprendiéndose de una parte para asegurar el correcto desarrollo de los seleccionados. Los frutos comienzan a crecer en base a las reservas de agua y nutrientes, alcanzando antes del endurecimiento del hueso (julio) el tamaño y características finales. A la vez, los brotes nuevos del año siguen creciendo.	
Julio	Endurecimiento del hueso/ Parada vegetativa	Durante el mes de julio se produce el endurecimiento del hueso del fruto, el cual va acumulando reservas hasta llegar a la maduración. Durante las horas del día los olivos reducen su actividad (evitan la evapotranspiración cerrando las estomas) para economizar recursos debido a las altas temperaturas y a la falta de agua.	
Agosto	Parada vegetativa/ Crecimiento lento	El olivo continúa en parada vegetativa, almacenando reservas en forma de azúcares	

		que posteriormente transformará en ácidos grasos para generar aceite.	
Septiembre	Envero/ Maduración	A finales del verano y principios del otoño el fruto cambia de color (verde-rojo-negro) y comienza a madurar, transformando los azúcares en aceite. La duración del envero dependerá de la especie y de las condiciones climatológicas y edáficas.	Consumo
Octubre			
Noviembre	Fin del envero/ Recolección	A finales de otoño el fruto ha madurado y se procede a la recolección.	
Diciembre	Parada vegetativa de invierno	Tras la recolección el olivo entra en un estado de letargo invernal. La actividad se detiene al mínimo y el olivo comienza a almacenar nutrientes. Al final del invierno el olivo comenzará a prepararse para un nuevo ciclo fenológico.	Acumulación
Enero			
Febrero			

Sentinel-2 es un satélite europeo que forma parte de la familia de misiones de la ESA, dentro del Copernicus European Union's Earth Observation Programme. Está compuesto por dos sensores, Sentinel-2A y Sentinel-2B, los cuales ofrecen una resolución temporal conjunta de 5 días (10 días individualmente). El sistema de barrido genera imágenes de 290 km de ancho aplicando un campo de visión total de aproximadamente 20°. Sentinel-2 lleva una cámara MSI (Multi Spectral Instrument) de alta resolución, basada en las misiones francesas SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre) y en los satélites estadounidenses del programa Landsat. Las imágenes cuentan con 13 bandas espectrales, de las cuales cuatro tienen una resolución espacial de 10 m, seis de 20 m y tres de 60 m (Tabla 3). Las últimas están destinadas a las correcciones atmosféricas y a la detección de nubes (Drusch et al., 2012). Este satélite incorpora dos nuevas bandas en el infrarrojo cercano denominadas Red-Edge, las cuales contienen la información bioquímica y, por tanto, son importantes para determinar el contenido de Cl en la cobertura vegetal (Gitelson et al., 2005). La resolución espectral (443 nm – 2190 nm) cubre la región del espectro visible (VIS) y del infrarrojo cercano (NIR), así como la del infrarrojo de onda corta (SWIR) (Tabla 3). Las bandas Red-Edge están centradas a 705 nm (Banda 5) y 740 nm (Banda 6), con un ancho de banda de 15 nm y una resolución espacial de 20 m (Tabla 3).



**Tabla 3.** Especificaciones de las bandas espectrales del Sentinel-2 (Drusch et al., 2012).

<b>Bandas</b>	<b>Resolución espectral (nm)</b>	<b>Resolución espacial (m)</b>
Banda 1 (Aerosol)	443	60
Banda 2 (Azul)	490	10
Banda 3 (Verde)	560	10
Banda 4 (Rojo)	665	10
Banda 5 (Infrarrojo cercano - NIR)	705	20
Banda 6 (Infrarrojo cercano - NIR)	740	20
Banda 7 (Infrarrojo cercano - NIR)	783	20
Banda 8 (Infrarrojo cercano - NIR)	842	10
Banda 8a (Infrarrojo cercano - NIR)	865	20
Banda 9 (Vapor de agua)	945	60
Banda 10 (Cirrus)	1375	60
Banda 11 (Infrarrojo lejano - SWIR)	1610	20
Banda 12 (Infrarrojo lejano - SWIR)	2190	20

Para determinar el contenido de  $Cl/N$  a lo largo del ciclo fenológico del olivo se utilizaron un total de 19 imágenes, una por cada mes comprendido entre julio de 2016 y febrero de 2018 (ambos inclusive), a excepción de la imagen del mes de marzo de 2017 en la que la presencia de una elevada nubosidad no permitió obtener resultados satisfactorios. Las imágenes fueron procesadas con la herramienta de pre-procesamiento del plugin Semi-Automatic Classification (SCP Versión 5.3.11-Kuorou; Congedo, 2016) desarrollado para QGIS. El pre-procesamiento permite convertir la radiancia en reflectancia y aplicar la corrección atmosférica DOSI, que elimina el efecto de los aerosoles y el componente intrusivo de la atmósfera, mejorando la calidad visual de la imagen (Aguilar Arias et al., 2014).

Los índices MCARI (Daughtry et al., 2000) y TCARI (Haboudane et al., 2002) son derivados del índice CARI (Chlorophyll Absorption in Reflectance Index). Este índice fue desarrollado por Kim et al. (1994) para determinar el contenido de  $Cl$  en la cubierta vegetal utilizando las bandas correspondientes a la mínima absorción de los pigmentos fotosintéticos, centrados a 550 y 700nm, junto con la banda de máxima absorción de la  $Cl-a$ , en torno a 670nm. La selección de la longitud de onda 700nm se debe a su localización en el límite entre la región donde la reflectancia de la vegetación está dominada por la absorción de los pigmentos y el comienzo de la región Red-Edge, donde la respuesta espectral de la vegetación está dominada por sus características estructurales (Kim et al., 1994). Sin embargo, este índice se ve afectado por la variabilidad de la reflectancia emitida por los componentes no fotosintéticos. Para solventar este problema Daughtry et al. (2000) propuso el índice modificado MCARI (Ecuación 1) combinado con el índice OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index; Rondeaux et al., 1996; Ecuación 2). Posteriormente, Haboudane et al., (2002) demostraron que el índice MCARI todavía era sensible a parámetros como el índice de área foliar (LAI, leaf area index), la interacción LAI- $Cl$  o la reflectancia del suelo, especialmente en casos de bajo contenido clorofílico. Por ello, propusieron el índice transformado TCARI (Ecuación 3) combinado con el índice OSAVI. No obstante, ambos índices han presentado relaciones significativas con el contenido de  $N$  en diferentes tipos de cultivo.

$$\text{Ecuación 1. } \text{MCARI} = [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 (R_{700} - R_{550})] \left( \frac{R_{700}}{R_{670}} \right)$$

$$\text{Ecuación 2. } \text{OSAVI} = (1 + 1,6)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 1,6)$$

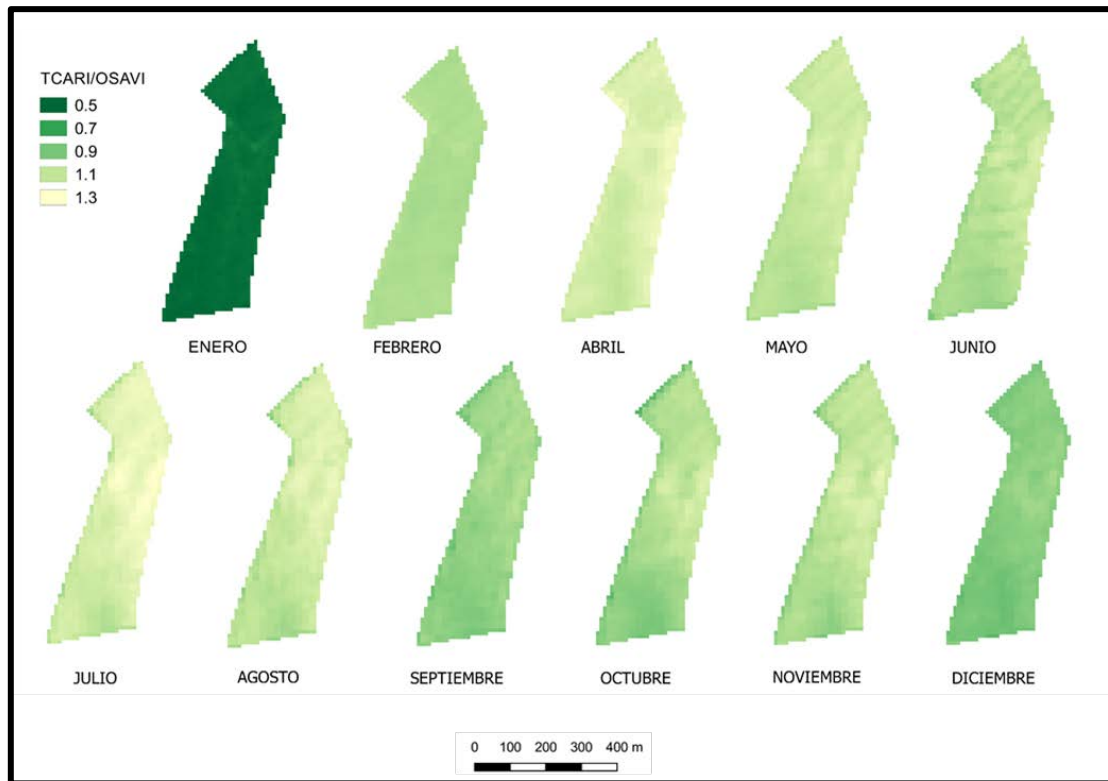
$$\text{Ecuación 3. } \text{TCARI} = 3 [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 (R_{700} - R_{550}) \left( \frac{R_{700}}{R_{670}} \right)]$$

Siguiendo el método propuesto por Wu et al. (2008) para estimar los índices MCARI y TCARI a partir de las bandas del Sentinel-2A se ha seleccionado la banda 3 (560nm), correspondiente al espectro visible verde, y se han sustituido las bandas del espectro visible rojo (670nm) y del NIR (700nm) por las bandas 5 (705nm) y 6 (740nm) del Red-Edge. Para calcular el índice OSAVI se han sustituido las bandas del espectro rojo (670nm) y del NIR (800nm) por las bandas 5 (705nm) y 6 (740nm) del Red-Edge. Tanto Wu et al. (2008) como Clevers y Kooistra (2012) obtuvieron mejores correlaciones entre el contenido de Cl/N y los índices MCARI/OSAVI y TCARI/OSAVI simulando las bandas del Sentinel-2A. Así, los índices fueron calculados en base a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 4. } \text{MCARI/OSAVI} = \frac{[(R_{740} - R_{705}) - 0,2 (R_{740} - R_{560})] \left( \frac{R_{740}}{R_{705}} \right)}{(1 + 1,6)(R_{740} - R_{705}) / (R_{740} + R_{705} + 1,6)} \quad (\text{Wu et al., 2008})$$

$$\text{Ecuación 5. } \text{TCARI/OSAVI} = \frac{3 [(R_{740} - R_{705}) - 0,2 (R_{740} - R_{560}) \left( \frac{R_{740}}{R_{705}} \right)]}{(1 + 1,6)(R_{740} - R_{705}) / (R_{740} + R_{705} + 1,6)} \quad (\text{Wu et al., 2008})$$

Por último, para estimar el contenido de Cl/N en hoja y relacionarla con el estado fenológico del olivo se calcularon los índices MCARI/OSAVI y TCARI/OSAVI, generando una imagen raster para cada uno de los meses que componen el periodo de estudio y para cada parcela (en la Figura 2 se representa el ejemplo de P1). Posteriormente, a partir de las imágenes raster generadas, se obtuvo el valor medio mensual de los índices. Para ello se utilizó un grid regular de puntos, con una distancia de 20 m (mayor resolución espacial de las bandas utilizadas) y la herramienta point sampling tool (versión 0.5.1.) de QGIS (Jurgiel, 2016). Además, se llevaron a cabo análisis estadístico-descriptivos del conjunto de datos y se compararon las medias (t-test) de los índices mensuales consecutivos (software Statistica<sup>8</sup>).



**Figura 2.** Índice TCARI/OSAVI a lo largo del año fenológico 2017 en PI. Cada imagen ráster es el resultado de calcular, a partir de las bandas del sensor Sentinel-2A, el índice TCARI/OSAVI. Los índices presentan una relación inversamente proporcional con el contenido de Cl/N en hoja (Daughtry et al., 2000; Haboudane et al., 2002). Así, los valores más bajos (colores de verde más intensos) indican una mayor concentración de Cl/N y viceversa, valores más altos (verdes menos intensos) indican menor concentración de Cl/N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los índices MCARI/OSAVI y TCARI/OSAVI indicaron variaciones en el contenido medio de Cl/N en las hojas de olivos entre julio de 2016 y febrero de 2018 en las cuatro áreas de estudio (Figura 3). Es importante indicar que para interpretar los datos presentados en la Figura 3 hay que tener en cuenta que ambos índices presentan una relación inversamente proporcional al contenido de Cl/N en hoja (Daughtry et al., 2000; Haboudane et al., 2002).

El índice MCARI/OSAVI presentó una mayor variabilidad espacial del contenido de Cl/N (Figura 3a) que el índice TCARI/OSAVI, el cual presenta tendencias muy similares para todas las áreas de estudio (Figura 3b). Por otro lado, en cada parcela, los valores mensuales consecutivos de ambos índices fueron estadísticamente diferentes ( $p\text{-value} = 0.000$ ), lo que indica una variación temporal de los datos.

Según los resultados obtenidos con el índice MCARI/OSAVI (Figura 3a), durante los meses de invierno 2016 – 2017 el contenido de Cl/N en las hojas de los olivos fue bajo, indicando un periodo de consumo de N en todas las parcelas, aunque con una marcada dispersión espacial. Durante los meses de primavera, verano y comienzos del otoño del año 2017 los datos presentan una menor variación espacial y el contenido de Cl/N se incrementó, indicando un periodo de acumulación de nutrientes. En los meses de invierno 2017 – 2018 las estimaciones marcan una gran diferencia entre P4, con un bajo contenido de Cl/N, que apunta a un periodo de consumo de N, y el resto

de fincas que presentaron contenidos más elevados, indicando un periodo de acumulación de nutrientes. El mayor contenido de Cl/N en las hojas de los olivos tuvo lugar en P3 en febrero del 2018 (MCARI/OSAVI = 0,04) y el mínimo se estimó en P4 en el mismo mes (MCARI/OSAVI = 0,74), lo que refleja la elevada variación espacial de los datos. Esta variación dificulta la interpretación de los resultados, los cuales, además, no presentan coincidencias con los periodos de consumo y acumulación de nutrientes del olivo a lo largo del ciclo fenológico (Tabla I).

El índice MCARI/OSAVI presenta una mayor sensibilidad que el TCARI/OSAVI a la respuesta espectral de los materiales no fotosintéticos como el suelo desnudo (Haboudane et al., 2002). El olivar tradicional se caracteriza por una baja densidad de árboles (entre 80 y 120 pies ha<sup>-1</sup>), separados por una distancia de 8-10 m aproximadamente, por lo que la resolución espacial de las imágenes satélite utilizadas en este trabajo (20 m) no permiten diferenciar con precisión la respuesta espectral de la copa de los árboles de la respuesta del suelo entre olivos. Zarco-Tejada et al., (2004) determinó la influencia de la estructura y sombra de las copas de los olivos en la estimación del contenido de Cl en hoja. Para ello utilizó imágenes hiperespectrales de alta resolución (imágenes ROSIS con un tamaño de píxel de 1 m) y los índices de vegetación  $R_{750}/R_{710}$ , MCARI/OSAVI y el TCARI/OSAVI. Los resultados indicaron variaciones en función del LAI, sobre todo cuando presenta valores bajos, por lo que el suelo desnudo y la sombra generada por la copa de los olivos afectó directamente a los índices. Así, la variación espacial que presentan los datos obtenidos a partir del índice MCARI/OSAVI podría estar relacionada con este factor.

Por otro lado, los resultados obtenidos con el índice TCARI/OSAVI presentaron una menor variación espacial, con tendencias del contenido de Cl/N similares en todas las parcelas. El contenido mínimo de Cl/N se estimó en P3 en el mes de noviembre de 2016 (TCARI/OSAVI = 1,60) y el máximo en la misma parcela en enero de 2017 (TCARI/OSAVI = 0,42). La variación temporal de los datos presentó coincidencias con los periodos de consumo y acumulación de nutrientes del olivo a lo largo del ciclo fenológico (Tabla I). Los meses de primavera y del principio del verano, así como los meses de otoño indicaron un bajo contenido de Cl/N, coincidiendo con los periodos de mayor consumo de nutrientes del olivo, debido a la brotación de nuevos tallos y hojas, a la fecundación y crecimiento rápido del fruto, así como al envero y a la maduración del mismo, respectivamente. Los meses de invierno presentaron valores de contenido de Cl/N más elevados, indicando periodos de acumulación de nutrientes, que coinciden con la parada vegetativa de invierno. En este último caso, los datos reflejan una clara diferencia entre los meses de invierno 2016-2017 y 2017-2018, lo que puede estar relacionado con la vecería del olivo.

La vecería es un fenómeno característico de los árboles frutales y hace referencia a la alternancia de periodos de producción. Por lo general, el olivo produce en base a un ciclo bienal. La floración y fecundación del fruto se produce en los brotes desarrollados durante el año anterior, por lo que durante un mismo año los estados fenológicos se solapan con el crecimiento de los nuevos brotes, que serán los que produzcan el fruto al año siguiente. No obstante, el desarrollo del fruto prevalece sobre el resto de procesos. Este fenómeno genera que unos años sea más productivos (años de carga) que otros (años de descarga) (Monselise y Goldschmidt, 1982).

No disponemos de datos anteriores a julio de 2016, por lo que no podemos comparar diferentes ciclos fenológicos. Sin embargo, Fernández-Escobar et al., (1999) analizó la influencia de la vecería en el contenido de N (%) en hojas de olivos en el sur de la provincia de Córdoba. Los resultados indicaron un mayor contenido de N durante el año de descarga que durante el año de carga consecutivo, cuando se produjo un fuerte descenso a partir de los meses de verano y sobre todo en los meses de otoño. De este modo, durante los años de carga el

olivo consume más N que durante los años de descargas, como podrían estar indicando los resultados obtenidos con el índice TCARI/OSAVI, siendo el año 2016 el año de carga y 2017 el año de descarga.



**Figura 3. a)** Valores medios mensuales del índice MCARI/OSAVI entre julio de 2016 y febrero de 2018 para las cuatro áreas de estudio (P1, P2, P3, P4). **b)** Valores medios mensuales del índice TCARI/OSAVI entre julio de 2016 y febrero de 2018 para las cuatro áreas de estudio (P1, P2, P3, P4). La relación entre los valores del índice y los valores del contenido de C/N en hoja es inversamente proporcional en ambos casos (Daughtry et al., 2000; Haboudane et al., 2002). Las líneas discontinuas indican la posible tendencia del contenido de C/N cuando hay una laguna de datos.

## CONCLUSIONES

Los resultados indican que el índice TCARI/OSAVI puede ser más apropiado que el MCARI/OSAVI para estimar el contenido de Cl/N en las hojas de olivos. Los valores obtenidos a partir del índice MCARI/OSAVI no presentaron coincidencias con los estados fenológicos y los resultados fueron muy variables espacialmente, dificultando la interpretación temporal de los mismos. Sin embargo, el índice TCARI/OSAVI presentó una tendencia similar del contenido de Cl/N a lo largo del ciclo fenológico en las cuatro parcelas, coincidiendo con los periodos de acumulación y de consumo de nutrientes del olivo.

Así, el índice TCARI/OSAVI permite realizar una valoración aproximada del estado nutricional de los olivares tradicionales seleccionados como áreas de estudio, pero, para obtener resultados más precisos, es necesario relacionar los valores reportados por los índices con el contenido real de N en las hojas de los olivos. Por tanto, en futuras investigaciones, se pretende:

- i. Llevar a cabo análisis foliares que determinen los valores del contenido de N en hoja y correlacionar los resultados con las respuestas espectrales de las hojas muestreadas, utilizando un espectrorradiómetro de alta resolución (FieldSpec 4 Hi-Res.).
- ii. Analizar la relación entre las respuestas espectrales de las hojas de los olivos y los valores obtenidos a partir de los índices de estimación de Cl.

De este modo se podrá realizar un diagnóstico preciso del estado nutricional de los olivares a lo largo de su ciclo fenológico y se podrá llevar a cabo un plan de abono a la medida de las necesidades de los cultivos, permitiendo a los agricultores gestionar de manera eficiente las explotaciones agrícolas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Extremadura (Proyecto AA-16-0091-1 y GR15106) y por la Unión Europea (European Regional Development Funds).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R. y Vargas Bolaños, C. (2014): Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 y LANDSAT 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53: 39-59.
- Baret, F., Houllès, V. y Guérif, M. (2007): Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*, 58: 869-880.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J.M., Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J.J. (2004): Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2): 173-178.
- Charlotte Landau, E., Pereira Guimarães, D. y Hirsch, A. (2014): Uso de Sistemas de Informaciones Geográficas para especialización de datos del área de producción agrícola. En: E. Chartuni Mantovani y C. Magdalena (Ed.), *Manual de Agricultura de Precisión*. IICA, PROCISUR, Montevideo, pp. 22-29.
- CICTEX. (1987). Cartografía Geología: Estratigrafía de Extremadura a escala 1:25.000. CTEXIO 2010 CC-BY 4.0 CICTEX, Junta de Extremadura. <http://sitex.gobex.es/SITEX/centrodescargas/viewssubcategoria/24>
- CICTEX. (1987). Cartografía Litología: Estratigrafía de Extremadura a escala 1:25.000. CTEXIO 2010 CC-BY 4.0 CICTEX, Junta de Extremadura. <http://sitex.gobex.es/SITEX/centrodescargas/viewssubcategoria/24>

- CIGTEX. (1990). Cartografía Edafología – Clasificación FAO de Extremadura a escala 1:25.000. CTEX10 2010 CC-BY 4.0 CIGTEX, Junta de Extremadura. <http://sitex.gobex.es/SITEX/centrodscargas/viewssubcategoria/24>
- Clevers, J.G.P.W. y Kooistra, L. (2012): Using hyperspectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5: 574-583.
- Clevers, J.G.P.W. y Gitelson, A.A. (2013): Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and 3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 344-351.
- Congedo, L. (2016): Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Curran, P.J. (1989): Remote Sensing of Foliar Chemistry. *Remote Sensing Environment*, 30: 271-278.
- Daughtry, C.S.T., Walthall, C.L., Kim, M.S., Brown de Colstoun, E., y McMurtrey, J.E. (2000): Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74: 229-239.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, D., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, D., Marchese, F. y Bargellini, P. (2012): Sentinel-2: ESA's Optical High Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing Environment*, 120: 25-36.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017): Food and agriculture data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Fernandez-Escobar, R., Moreno, R., y Garcia-Creus, M. (1999): Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, 82(1-2): 25-45.
- Gitelson, A.A., Viña, A., Gignanda, V., Rundquist, D.C. y Arkebauer, T.J. (2005): Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letter*, 32 (8): 1-4.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. y Dextraze, L. (2002): Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81: 416-426.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007): Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103*. FAO. Roma, pp. 130.
- Jurgiel, B. (2016): Point Sampling Tool, version 0.5.1. <http://github.com/borysiasty/pointsamplingtool>
- Kim, M.S., Daughtry, C.S.T., Chappelle, E.W., McMurtrey, J.E., y Walthall, C.L. (1994): The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, January 17-21, Val D'Isere, France: 299-306.
- Mercado Luna, A. (2010): Medición de la concentración de nitrógeno en las plántulas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con un método indirecto vía análisis de imágenes digitales. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Monselise, S. y Goldschmidt, E.E. (1982): Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural Review*, 4: 128-173.
- Mulla, D.J. (2013): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114: 358-371.

- Oppelt, N. y Mauser, W. (2004): Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 145-159.
- Peterson, D.L., Aber, J.D., Matson, P.A., Card, D.H., Swanberg, N., Wessman, C., y Spanner, M. (1988): Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. *Remote Sensing of Environment*, 24(1): 85-108.
- Raymond Hunt Jr.E., Doraiswamy, P.C., McMurtrey, J.E., Daughtry, C.S.T. y Perry, E.M. (2013): A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21:103-112.
- Rondeaux, G., Steven, M., y Baret, F. (1996): Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55: 95-107.
- San Eufrasio Martínez, B., Mora Rodríguez, J.M., Casado Muños M<sup>e</sup>.C., Díaz Aguilar, R. y Díaz Aguilar, A. (2017): Análisis de parámetros bioquímicos para la gestión nutricional del olivo. XVIII Simposio Científico-Técnico EXPOLIVA, Jaén, pp. 1-6.
- Sánchez-Mora, K., Zuñiga-Gutiérrez, M.A. y Mayhua-López, E. (2016): A nonlinear model to estimate Nitrogen level in agricultural soil using Gaussian Kernels. En: ANDESCON 2016, IEEE. IEEE, pp. 1-4.
- Sanz-Cortés, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M.L., Bleiholder, H., Hack, H., Llacer, G., y Meier, U. (2002): Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2): 151-157.
- Vos, J. y Bom, M. (1993): Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato Research*, 36: 301-308.
- Wu, C., Niu, Z., Tang, Q. y Huang, W. (2008): Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and Validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148 (8-9): 1230-1241.
- Yoder, B.J. y Pettigrew-Crosby, R.E. (1995): Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment*, 53: 199-211.
- Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Morales, A., Berjón, A. y Agüera, J. (2004): Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote Sensing of Environment*, 90: 463-476.



# HERRAMIENTAS SIG WEB COMO MEDIO DE DIFUSIÓN TURÍSTICA

Gema Cárdenas Alonso<sup>1</sup> y Ana Nieto Masot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Desarrollo Territorial Sostenible; Universidad de Extremadura. Av. De la Universidad, s/n., 10003, Cáceres. gemacardenas@unex.es

<sup>2</sup> Instituto de Desarrollo Territorial Sostenible; Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Área de Geografía Humana, Universidad de Extremadura. Av. De la Universidad, s/n., 10003, Cáceres. ananieto@unex.es

## RESUMEN

Apoyando a las nuevas tendencias en las Tecnologías de la Información Geográfica, que buscan nuevos planteamientos para trabajar con variada información y ponerla a disposición de los ciudadanos, en este trabajo se presenta la creación de un geoportal empleando una herramienta SIG web gratuita con multitud de funcionalidades, ArcGIS Online.

El objetivo es mostrar cómo el uso de este tipo de herramientas puede servir, de manera libre y gratuita, en la promoción turística de un territorio, en este caso Extremadura.

Palabras clave: Geoportal, SIG web, difusión turística, Extremadura

## ABSTRACT

Supporting new trends in Geographic Information Technologies, which seek new approaches to work with varied information and make it available to people, this paper presents the creation of a geoportal using a free web GIS tool with many functionalities, ArcGIS Online.

The objective is to show how the use of this type of tools can serve, freely and free of charge, in the tourist promotion of a territory, in this case Extremadura.

Key words: Geoportal, Web GIS, touristic promotion, Extremadura

## INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en los años 60, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han experimentado un avance constante enfocado, sobre todo, en la búsqueda de nuevas herramientas que extrapolan a los patrones geográficos. Como toda tecnología, los SIG intentan simplificar las complejas relaciones existentes en el mundo real, representando un modelo y transfiriéndolo a una base de datos computada, cuya salida se ve reflejada gráfica y cartográficamente (Nieto y Cárdenas, 2015a).

Actualmente, están apareciendo nuevas tendencias en las Tecnologías de la Información Geográfica, se buscan nuevos planteamientos para desarrollar metodologías apropiadas para trabajar con variada información y estudios de la influencia cultural, social y política que puedan ejercer el acceso a las nuevas formas de consulta y a la información geográfica (Elwood, 2010), pero es en la última década del siglo XX cuando aparece la visualización de la información geográfica a través de páginas web y, muy importante, sin ningún coste económico, suponiendo esto un fenómeno social y una auténtica revolución, posibilitando presentar la información a través de nuevas formas y ofreciendo, además, distintas perspectivas y permitiendo simular la exploración de nuevas hipótesis (Bucley et al, 2000). Visualizar la información geográfica se ha convertido en una parte fundamental del trabajo con un SIG y, aunque no resulta totalmente imprescindible y es posible encontrar alguno dedicado exclusivamente al análisis de datos sin visualización de la información, la mayor parte incluye funcionalidades para ello como elemento principal y básico, siendo esto imprescindible para la mayoría de usuarios. En esto último radica la verdadera importancia de poner información cartográfica a disposición de cualquier persona y de manera gratuita en la web. Además, hay que tener en cuenta que un SIG está pensado para, por un lado, crear cartografía a partir de datos, y por otro, para visualizarlos de la mejor forma posible para ser difundidos a usuarios cuyo objetivo no es la elaboración de cartografía, sino la consulta de la misma (Olaya, 2009).

Todo el fenómeno descrito anteriormente ha sido denominado como la “democratización” de la información geográfica (Butler, 2006), caracterizado por innovadoras formas de geovisualización de información de muy distinta procedencia y fruto del desarrollo de dispositivos móviles, de la aparición y el trabajo en la Nube, de la mejora de los ordenadores y de la disposición gratuita de geodatos masivos y de calidad (Buzo, 2017). A través de los portales web, en los últimos años, el ciudadano ordinario ha podido tomar un papel protagonista en la creación de representaciones alternativas de su entorno más cercano. De esta manera, los avances en la visualización geográfica o geovisualización han sido fundamentales, pues han permitido introducir nuevas formas de representación visual de la información geográfica que facilitan la comunicación de conocimiento espacial a los usuarios (Kraak, 2007), siendo su finalidad hacer más accesible representaciones alternativas de fenómenos medioambientales, sociales, poblacionales y patrimoniales del territorio que provienen de diferentes fuentes y formatos. Así, se obtienen agregados cartográficos (*mapping mashups*), literalmente “conglomerados o mezcla de mapas”, con los que el usuario final puede representar las variables socio-espaciales de un territorio de maneras inimaginables hasta hace poco tiempo. Las recientes herramientas de geovisualización permiten, sobre todo, la combinación dinámica en la pantalla del usuario de información geográfica de diversa procedencia sobre una base cartográfica estándar (Mateos, 2013). El éxito se basará en la combinación de la información geográfica adecuada y en que sea de una manera dinámica, rápida y de fácil entendimiento para cualquier tipo de usuario.

Como se ha dicho, las nuevas formas de representación geográfica se han trasladado a las webs, siendo aún más accesibles, y pudiendo encontrar numerosos portales, geoportales o geowebs (Goodchild y Janelle, 2010; Singleton, 2010) con, por ejemplo, datos censales, estadísticas del Gobierno, información de servicios comerciales, así como información geográfica voluntaria (VGI (Volunteered Geographic Information, un conjunto

de herramientas que permiten crear, reunir y difundir los datos proporcionados de manera voluntaria por individuos (Goodchild, 2007; Flanagan y Metzger, 2008).

No se puede olvidar el gran avance experimentado en el desarrollo de globos virtuales y servicios de mapas online, tales como Google Earth o Google Maps (Patterson, 2007), que proporcionan el acceso a imágenes de satélite y fotografías aéreas de alta resolución vía internet, así como información a nivel de calle con fotografías con vista panorámica (Dodge y Perkins, 2009). Destacar, además, la posibilidad que ofrece Google Maps por permitir, a través de una interfaz de programación, que los usuarios, con conocimientos básicos, puedan construir aplicaciones integrando sus propios datos geográficos. Por lo tanto, se puede crear un mapa propio de puntos, o de coropletas, con alguna variable de interés y añadirle un marco geográfico. Esto a través de la cartografía base a nivel de detalle que ofrecen Google Maps u otros servidores, por ejemplo, de fotografías aéreas del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del IGN), callejeros de Open Street Map, imágenes de satélite de Google Earth, con información de delimitaciones urbanas o rústicas a través del Catastro, etc. Es decir, el usuario no tiene por qué saber de escalas cartográficas, proyecciones, shapefiles, códigos de hojas o niveles de cartografía administrativa, pues con estos servicios puede situar y contextualizar su información geográfica. A la cartografía propia se le añade información complementaria, real, a diferencia de un SIG tradicional con un fondo "en blanco".

En este punto, hay que mencionar que, para publicar información en un geoportal, existen varias formas, siguiendo las normativas de INSPIRE (Amaro y Jiménez, 2010) y del Open GeoSpatial Consortium (OGC) (Lupp, 2008) en cuanto a código abierto e interoperabilidad: servicio WMS (Web Map Services), con el que se permite la consulta de mapas con datos referenciados en formatos de imagen; servicio WFS (Web Feature Services), con el cual es posible la descarga de las capas de información geográfica vectorial completa, con su geometría y su tabla de atributos asociada; y servicio WCS, igual que los anteriores pero en formato raster y ofreciendo la posibilidad de acceder a coberturas de imagen con valores numéricos asociados.

De este modo, en el presente trabajo se presentan las ventajas de un geoportal a través de la exposición de la creación de uno empleando como herramienta ArcGIS Online, de la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute), y tomando como temática el Turismo en la región de Extremadura.

## LA IMPORTANCIA DE LA DIFUSIÓN TURÍSTICA

El turismo es una actividad económica de gran importancia con un impacto positivo tanto en el crecimiento económico como en el empleo, así como incide, de manera notable, en el entorno social, ambiental y cultural en que se practica, sirviendo estos entornos, a su vez, de recursos para explotar y para practicar la actividad turística (Navarro, 2015; Sancho, 1998). Partiendo de esto, es destacable el hecho de que en Extremadura, pudiendo ser considerada el área de estudio de este trabajo, la aportación del turismo al PIB regional se estimó, para el año 2016, en el 5,6% (INE, 2017), por lo tanto, se trata de una actividad interesante pero que debería ser más impulsada teniendo en cuenta que su contribución a la economía regional es aún inferior al de otras regiones, así como a nivel nacional (11%).

La región extremeña posee grandes atractivos turísticos, destacando, culturalmente, las ciudades de Cáceres y Mérida (ambas declaradas ciudades Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO) junto a Guadalupe y su monasterio, así como Badajoz, Plasencia, Trujillo, Zafra o Jerez de los Caballeros (Junta de Extremadura, 2017). Además, goza de numerosos enclaves naturales protegidos como el Parque Nacional de Monfragüe (Leco y Pérez, 2016), los parques naturales de Cornalvo y Tajo Internacional, la Reserva Natural Garganta de los Infiernos (Muñoz et al, 2014) o el Geoparque Villuercas-Ibores-Jara (Alvarado, 2013). Así, debido a la multitud y variedad de

recursos susceptibles de ser explotados turísticamente y que en determinadas áreas de la región, por dificultades físicas, desarrollar los sectores industrial y agroindustrial de manera competitiva es aun difícil, se está optando por el turismo como principal actividad económica. Por tanto, es sumamente importante una adecuada planificación de la actividad turística, así como su difusión y promoción, teniendo en cuenta, además, los ricos e interesantes recursos existentes en Extremadura y a la cada vez mayor demanda de la tipología de turismo que la región puede brindar a sus visitantes.

Así pues, tal y como afirman Caro et al (2014), el uso de las nuevas tecnologías se ha convertido en algo indispensable en la promoción de cualquier destino turístico, y son, actualmente, una herramienta vital para la difusión tanto del patrimonio cultural, como natural e inmaterial, habiendo tomado provecho del fuerte proceso de diversificación experimentado en los últimos años y de las novedosas herramientas de las web 2.0 (Timothy, 2011). Gracias al desarrollo de estas últimas, son numerosos los usuarios que pueden disfrutar, antes incluso de realizar sus viajes o visitas, de su destino turístico o planearlas adecuadamente con suficiente antelación. Esto es gracias a herramientas como foros, blogs, redes sociales, buscadores avanzados, sistemas de recomendación, de posicionamiento on-line y geovisores, como el que aquí se expondrá. Con esto se soluciona uno de los principales problemas a los que se enfrenta el turismo, es decir, a que el alcance de los medios de difusión empleados (folletos tradicionales, sitios de internet, anuncios en vías públicas,...), en ocasiones, es limitado o insuficiente, lo que provoca falta de información y de interés por parte del público, en general, y del futuro turista, en particular (Zúñiga et al, 2014).

De este modo, en este trabajo se muestra un geovisor o geoportal construido a partir de la herramienta SIG web ArcGIS Online de ESRI. El fin del trabajo es presentar la herramienta y su versátil utilidad, en este caso, como repositorio cartográfico de recursos turísticos en Extremadura y como medio de difusión de los mismos.

### ARCGIS ONLINE COMO HERRAMIENTA SIG WEB

La empresa ESRI, a través de su herramienta ArcGIS Online, ofrece la posibilidad de publicar, de manera gratuita, información en internet. Se trata de un novedoso recurso con un gran potencial y sus posibilidades, en cuanto a difusión, son mayores si se tiene en cuenta que, para comenzar a utilizarlo, simplemente hay que crear una cuenta pública (Figura 1). De este modo, es un medio idóneo para hacer llegar la información geográfica a un elevado número de usuarios y de manera rápida y gratuita.

<https://www.arcgis.com/home/index.html>

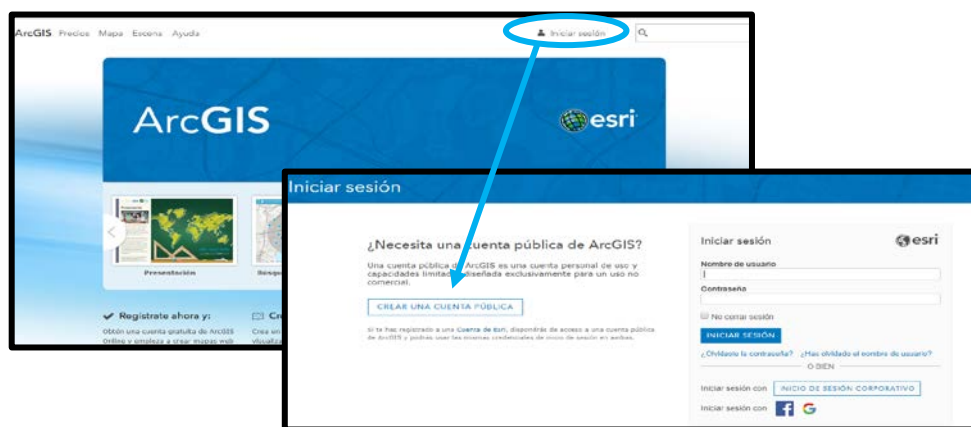
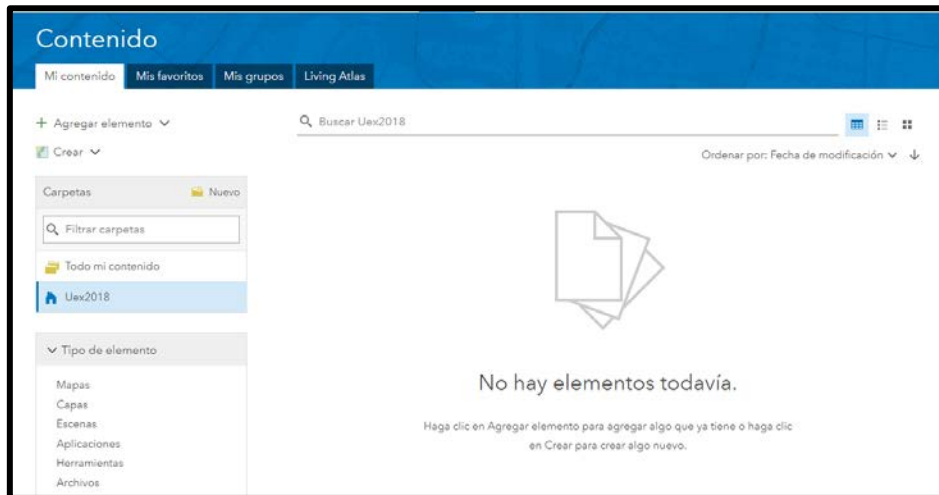


Figura 1. Acceso e inicio de sesión en ArcGIS Online

ArcGIS Online es un sistema SIG web de colaboración online que permite usar, crear y compartir mapas, escenas, aplicaciones, capas, análisis y datos basado en la nube. Se trabaja con estilos que permiten explorar o visualizar datos en 2D y 3D, los mapas creados y las aplicaciones, que vendrían a ser el geoportal, lo cual se puede compartir, después, con cualquier persona, en cualquier lugar y en cualquier momento.

Al acceder a la cuenta de ArcGIS Online aparece un perfil privado donde poder gestionar todo el contenido (Figura 2). A través de él, se crean los mapas, las escenas, las aplicaciones, herramientas,...



**Figura 2.** Sección de Contenido en cuenta privada de ArcGIS Online

Como elemento básico están los mapas web o Web Maps, en los que se carga la cartografía propia o publicada en la web y los cuales se podrían identificar con los tradicionales proyectos de ArcGIS Desktop. En la Figura 3 se presenta el proceso para su creación y configuración.



**Figura 3.** Proceso de configuración de mapas web en ArcGIS Online. Fuente: Documentación de ArcGIS. COPYRIGHT © 2017 ESRI.

Un mapa creado con ArcGIS Online será un mapa interactivo con información geográfica disponible para una amplia audiencia. Se incluyen mapas base de varias escalas, capas operacionales y ventanas emergentes que permiten a los usuarios ahondar en las entidades específicas en las que estén interesados. Además, se admite la visualización, edición y análisis de los datos. Los mapas web son la base de las aplicaciones web que, después, se

podrán visualizar tanto en dispositivos móviles como en aplicaciones de escritorio y navegadores web. Se pueden añadir, a través del Visor de Mapas (Figura 4), diversos mapas base (Figura 5), así como agregar capas desde la web (Figura 6) con servicios WMS, WMTS o WFS, archivos KML, GeoRSS, CSV o con mapa de teselas y desde un archivo (Figura 7) en formato shapefile, CSV o TXT, GPS y GeoJSON.

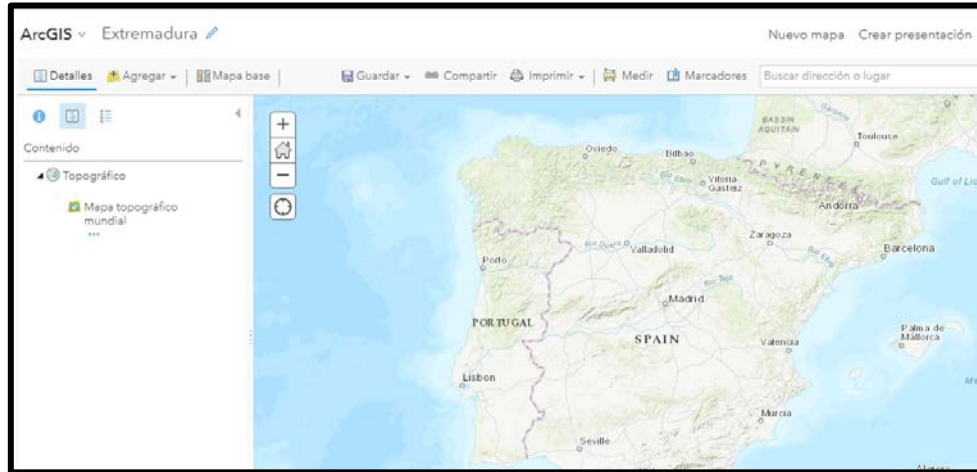


Figura 4. Visor de Mapas en ArcGIS Online

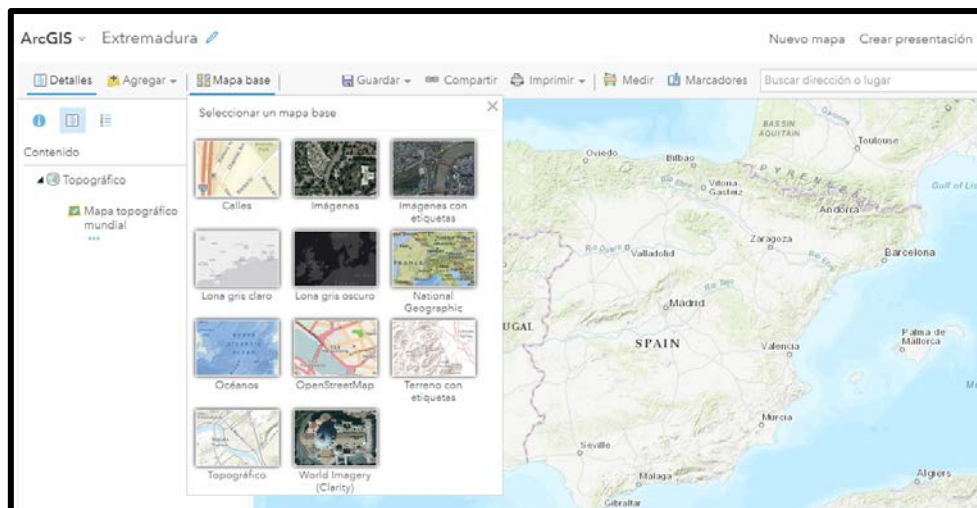


Figura 5. Añadir Mapa base en ArcGIS Online

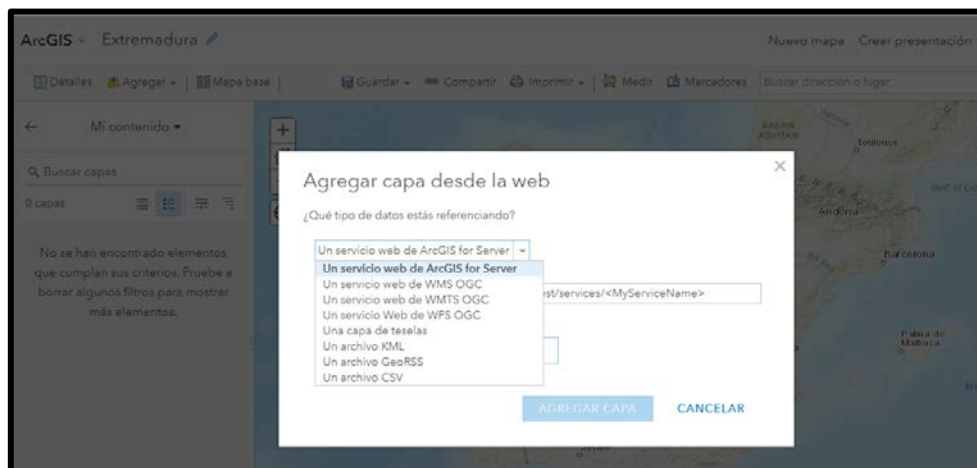


Figura 6. Agregar capa desde la web en ArcGIS Online

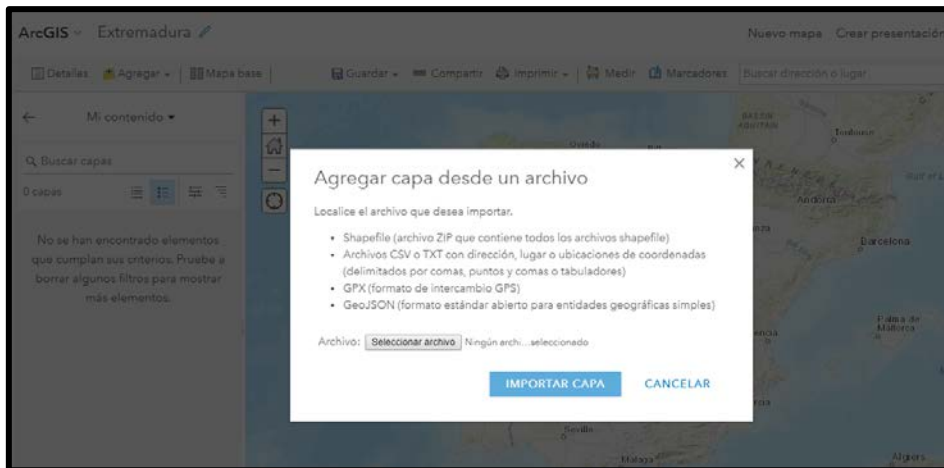


Figura 7. Agregar capa desde un archivo en ArcGIS Online

Una vez creados y configurados todos los mapas web que se deseen incluir en la aplicación o geoportal, la combinación de los primeros y la creación y configuración de la segunda se realiza a través de la multitud de plantillas disponibles de manera gratuita (Figura 8).

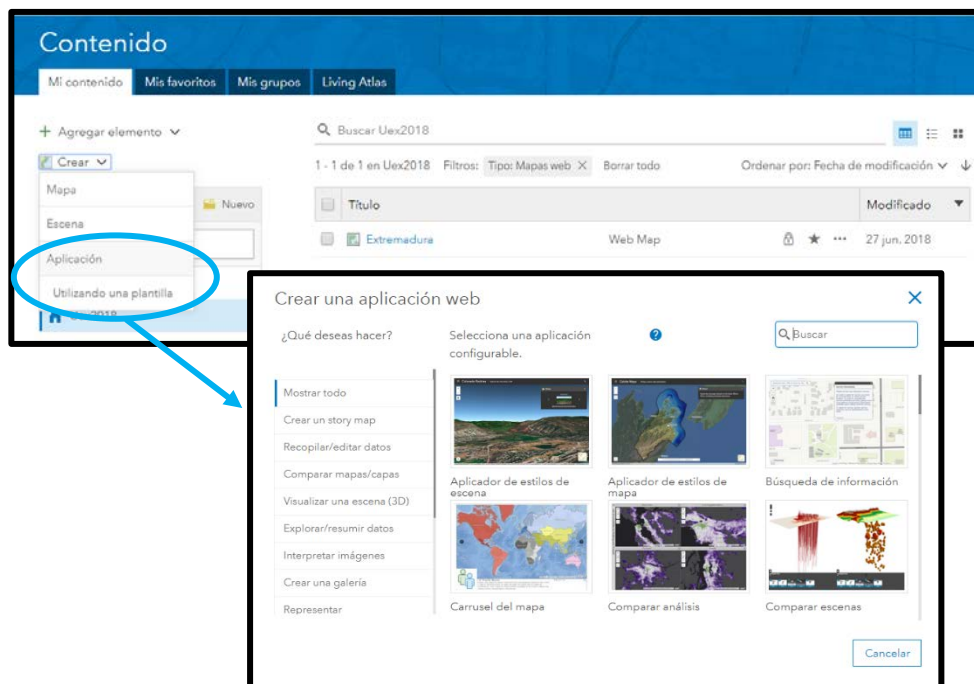


Figura 8. Crear una aplicación en ArcGIS Online

Usando una aplicación configurable de ArcGIS Online se ofrece a los usuarios una experiencia especialmente diseñada para interactuar con los mapas puestos a su disposición. A través de una Web Mapping Application se le otorga una finalidad al conjunto de mapas establecido, teniendo en cuenta el público previsto y cuáles son los puntos clave que se desea que el "visitante" extraiga de su experiencia, así como funcionalidad y estética. Con esta herramienta se crean aplicaciones en las que poder combinar Web Maps, creando mapas interactivos, enriqueciéndolos con contenido, una fotografía, un audio o, incluso, un vídeo, como se ha dicho anteriormente, a partir de multitud de plantillas. La básica es la llamada *Story Map Basic*, la cual permite presentar un mapa en una interfaz de usuario minimalista, con una barra de título, leyenda y un mapa general



que ocupa toda la pantalla, en el que el usuario podrá obtener información en ventanas emergentes con un solo clic en las entidades en las que esté interesado (Figura 9).

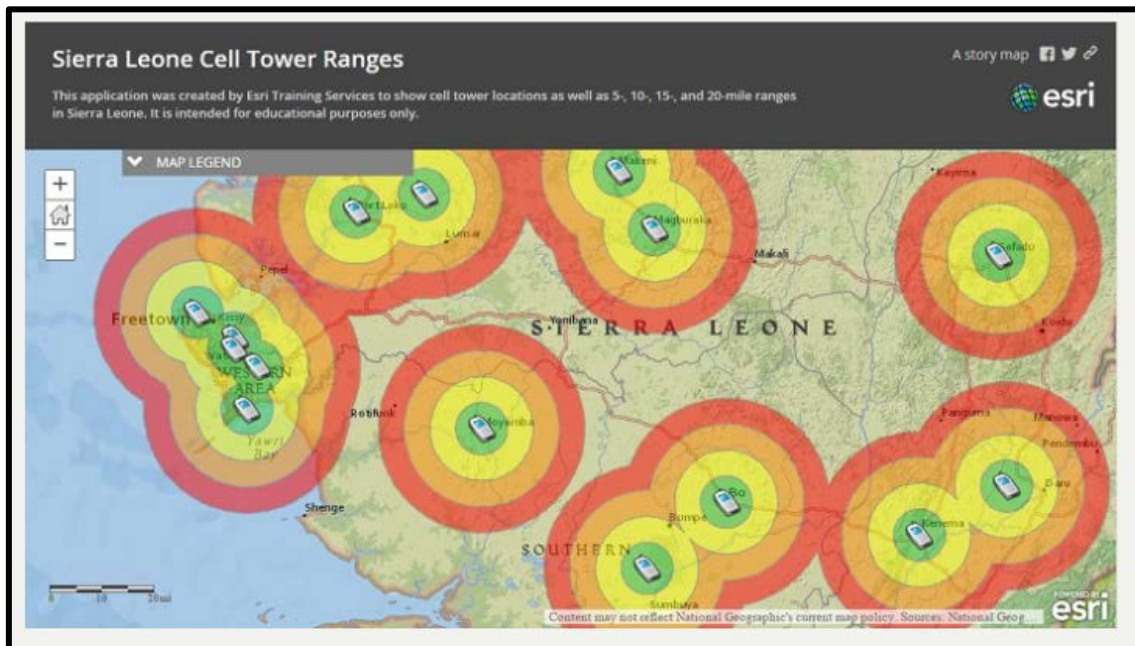


Figura 9. Plantilla *Story Map Basic* de ArcGIS Online

Otro ejemplo interesante es la plantilla *Story Map Series*, con la que es posible presentar varios mapas o contenido multimedia a través de pestañas, viñetas numeradas o de un panel lateral expandible (Figura 10).

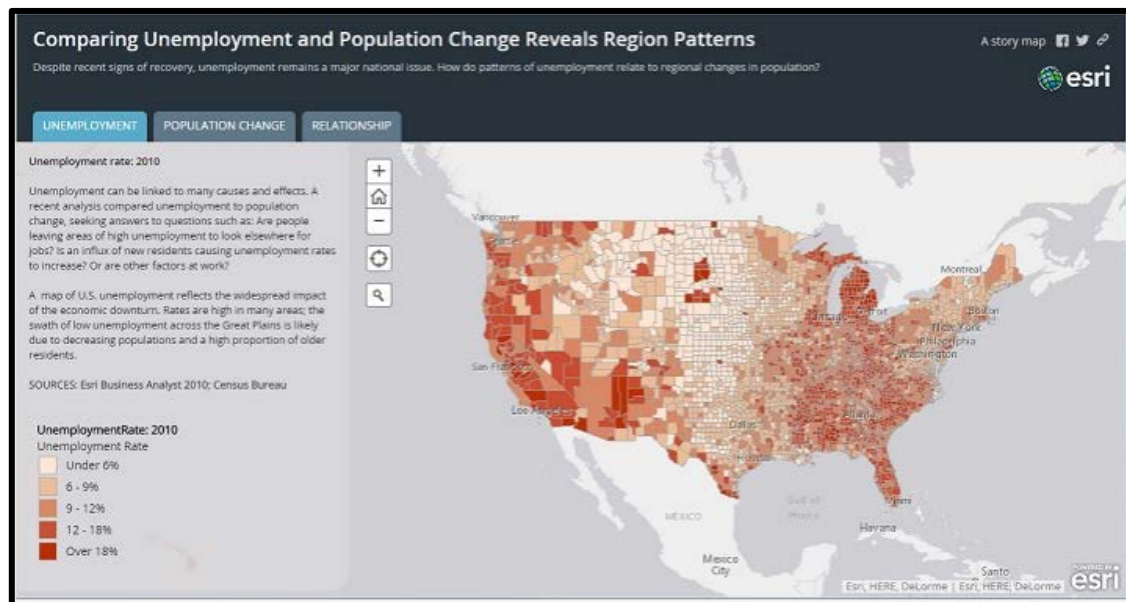


Figura 10. Plantilla *Story Map Series* de ArcGIS Online

Como último ejemplo, la plantilla denominada *Story Map Swipe and Spyglass* (Figura 11), con la que se pueden comparar, de forma atractiva, dos Web Map relacionados o dos capas de un único Web Map. Así, la aplicación permite presentar en una única vista una serie de ubicaciones o vistas de un mismo mapa.



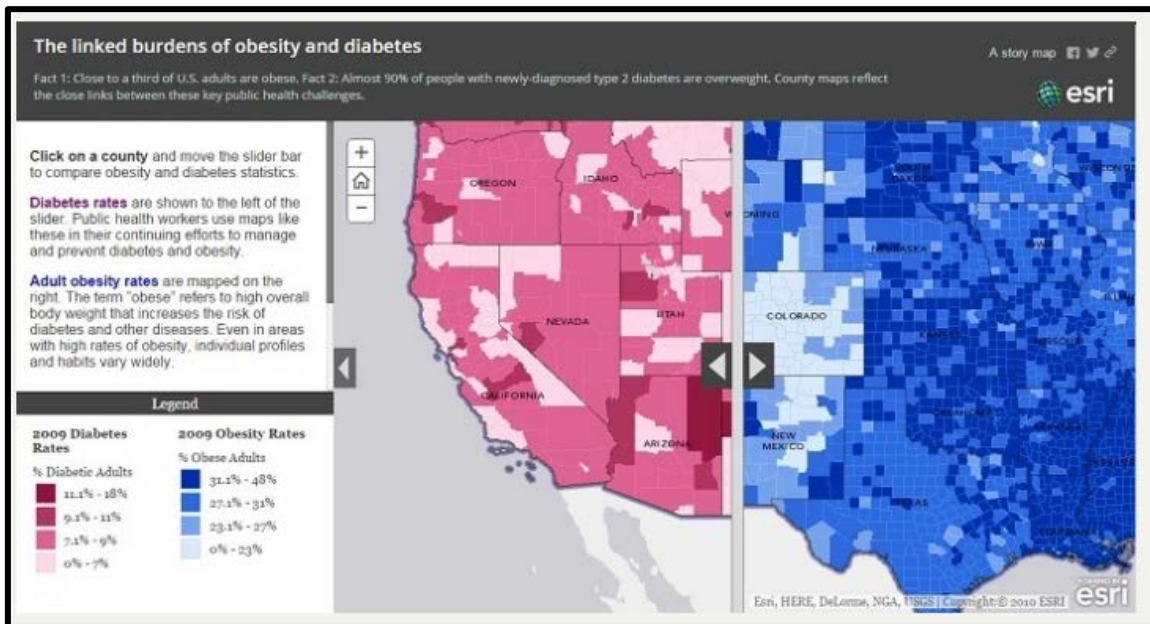


Figura 11. Plantilla *Story Map Swipe and Spyglass* de ArcGIS Online

Además de los Web Maps, están las Escenas Web o *Web Scenes*. En estas, se añade contenido geoespacial simbolizado con el que visualizar y analizar información geográfica en un entorno 3D de manera interactiva (Figura 12). Todas las Escenas Webs se forman a partir de capas (publicadas previamente en la web), mapas bases y suelo, es decir, el terreno con datos de elevación.

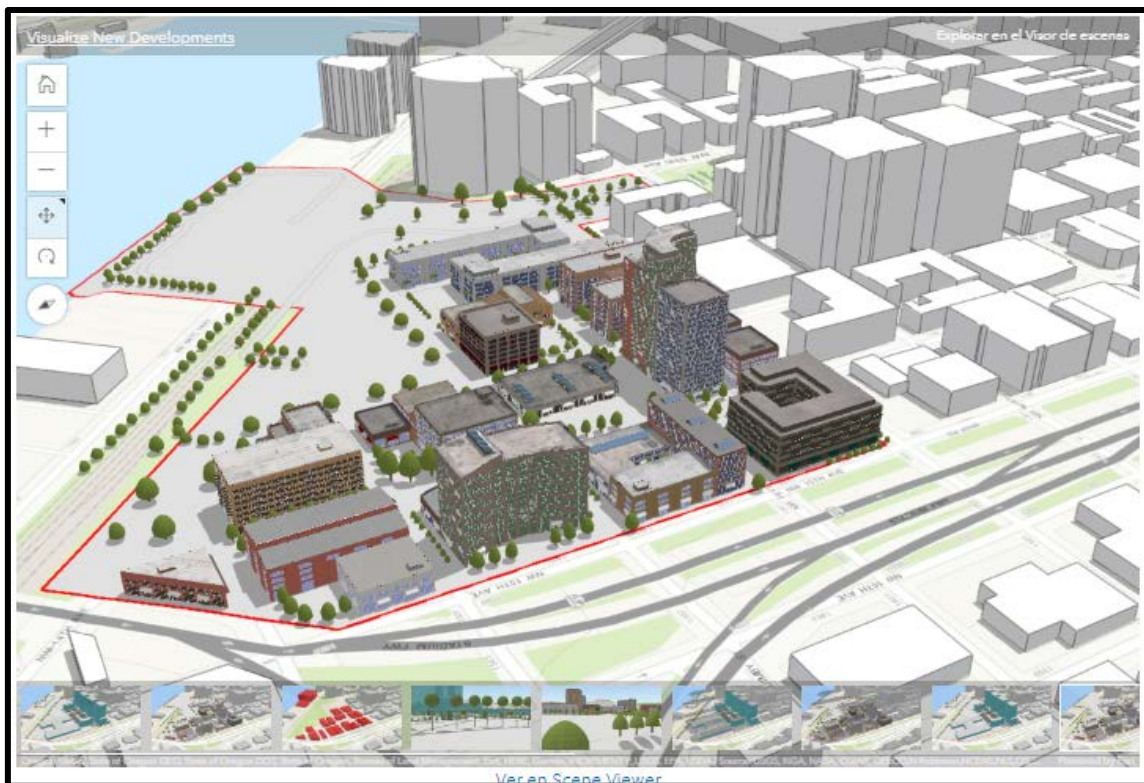


Figura 12. *Web Scenes* en ArcGIS Online.

Finalmente, una vez creadas las aplicaciones, solo queda compartirlas públicamente y se generará una URL alojada en el servidor de ArcGIS de ESRI (Figura 13), que se podrá difundir en cualquier plataforma de manera gratuita.



**Figura 13.** Compartir Web Mapping Application en ArcGIS Online

## CREACIÓN DE VISOR TURÍSTICO DE EXTREMADURA

Como se ha presentado anteriormente en este trabajo, se ha empleado la herramienta ArcGIS Online para construir un geoportal que sirva como medio de difusión de los recursos turísticos de la región de Extremadura, estos son:

- 📍 Recursos culturales.

Se ha creado un Web Map con las capas correspondientes a cada uno de los BICs de Extremadura (Zona Arqueológica, Monumento Histórico, Sitio Histórico, Patrimonio Inmaterial, Paisaje Pintoresco, Lugar de Interés Etonográfico, Conjunto Histórico Artístico y Bien Mueble), así como con una capa, representada en colores degradados, con el número total de BICs a nivel municipal (Figura 14).

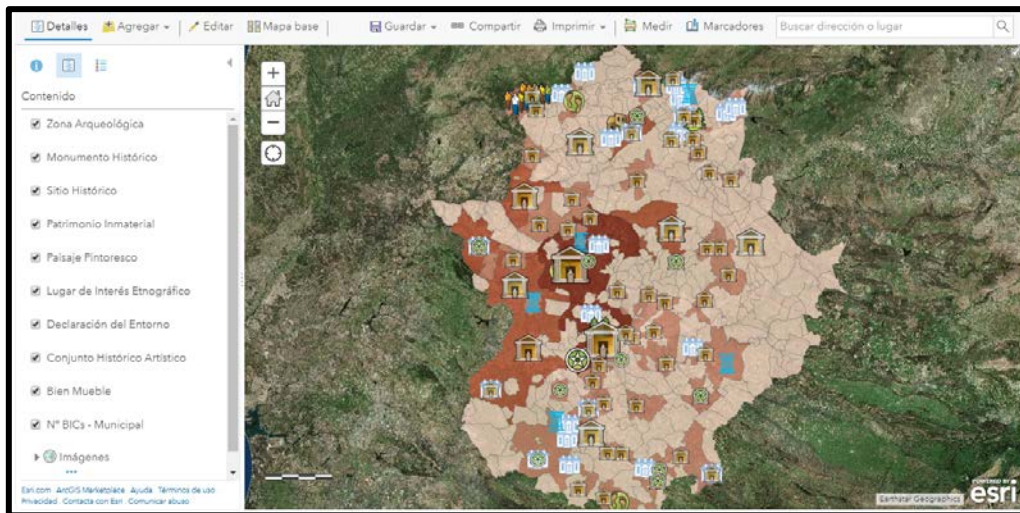


Figura 14. Web Map "Recursos culturales" en el Visor de Mapas de ArcGIS Online

📍 Recursos naturales.

Web Map (Figura 15) con las capas de ríos, embalses, del Geoparque Mundial de la UNESCO Villuercas-Ibores-Jara y de la RENPEX (Red de Espacios Naturales Protegidos de Extremadura), con información sobre los Parques Naturales, Reservas Naturales, Monumentos Naturales, Paisajes Protegidos, Zonas de Interés Regional, Corredores Ecológicos y de Biodiversidad, Parques Periurbanos de Conservación y Ocio, Lugares de Interés Científico, Árboles Singulares y Corredores Ecoculturales.

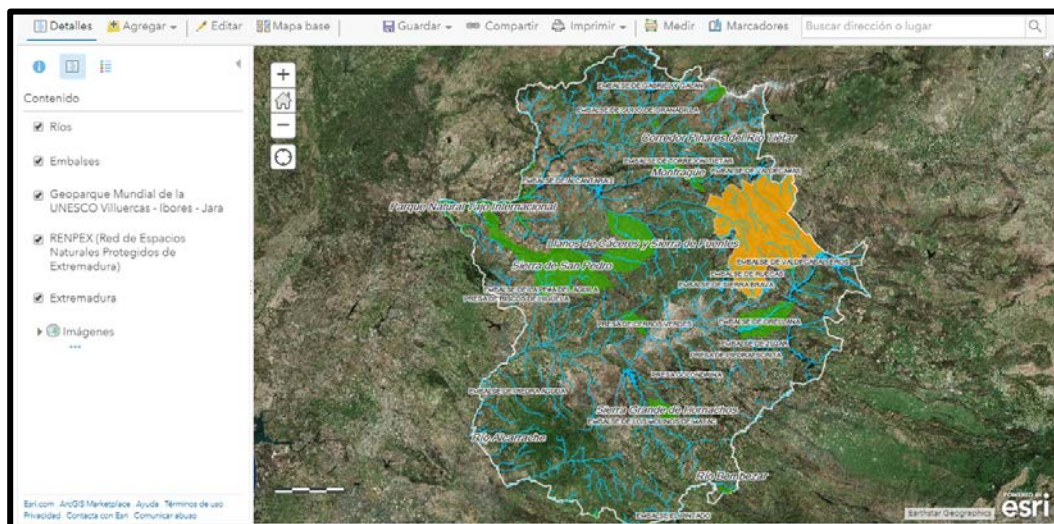


Figura 15. Web Map "Recursos naturales" en el Visor de Mapas de ArcGIS Online

📍 Ribera del Marco

Se ha creado una Web Mapping Application dedicada a la Ribera del Marco de la ciudad de Cáceres. Se han añadido las capas cartográficas (a partir de la creación de 9 Web Maps) (Figura 16) de las 9 rutas establecidas en el proyecto, del Grupo de Investigación DESOSTE de la UEx, "Puesta en valor del Corredor ambiental de la Ribera del Marco a partir de recreaciones virtuales 3D y cartografía temática con fines turísticos" (Nieto y Cárdenas, 2015b).



<input type="checkbox"/>	 Cáceres turística - Ribera del Marco	Web Mapping Application	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 9 - Ruta del Calerizo	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 8 - Virgen la Montaña	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 7 - Ruta de la Universidad	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 6 - Ribera del Marco 2	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 5 - Ribera del Marco I	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 4 - Ruta del Corredor Urbano de la Ribera del Marco	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 3 - Ruta del Pozo de la Esmeralda	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 2 - Ruta de Santa Lucía	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018
<input type="checkbox"/>	 Ruta 1- Ruta del Poblado Minero	Web Map	 ★ ...	14 abr. 2018

**Figura 16.** Lista de Web Maps y Web Mapping Application de la Ribera del Marco de Cáceres en Contenido de ArcGIS Online

#### Embalse de Gabriel y Galán

Web Mapping Application con dos Web Maps (Figura 17), uno con la ortofotografía del Vuelo americano de 1956 y otro con una ortofotografía del PNOA (2016) del embalse de Gabriel y Galán.



**Figura 17.** Web Maps con ortofotografías y embalse de Gabriel y Galán en Visor de Mapas de ArcGIS Online

#### Parque Nacional de Monfragüe

Escena Web con un modelo digital del terreno y una ruta por el Parque Nacional de Monfragüe en 3D (Figura 18).

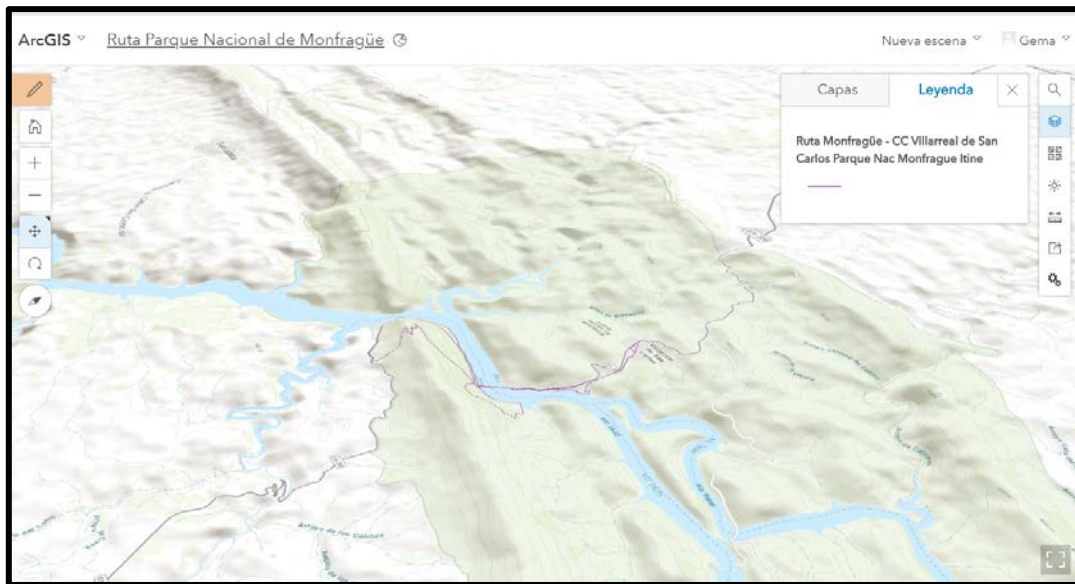


Figura 18. Editor de Web Scenes o Escenas Web con ruta por el Parque Nacional de Monfragüe en ArcGIS Online

### 📍 Empresas turísticas de Extremadura

Web Map con servicios publicados a través de ArcGIS for Server con las empresas turísticas de Extremadura (Figura 19), cuya fuente es la Base de Datos de empresas SABI (2017). Las empresas se clasifican en Agencia de viajes, Guía turístico, Turismo activo, C afe Bar, Cafetería, Restaurante, Catering, Discoteca, Albergue, Apartamento rural, Apartamento turístico, Camping, Casa rural, Pensión, Hostal, Hotel y Hotel rural.

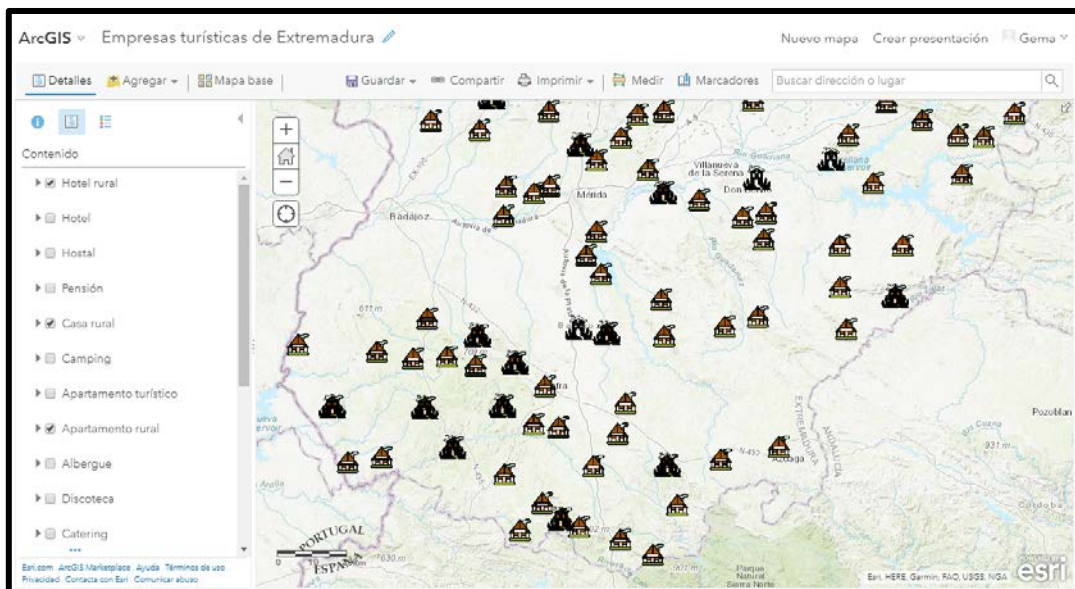


Figura 19. Web Map con la localización de las empresas turísticas de Extremadura en el Visor de Mapas de ArcGIS Online



Una vez creados los Web Maps necesarios, se construyó una Web Mapping Application titulada "Turismo por Extremadura" (Figura 20), cuya URL es:

<https://arcgis.com/arcgis/1rCqWT>

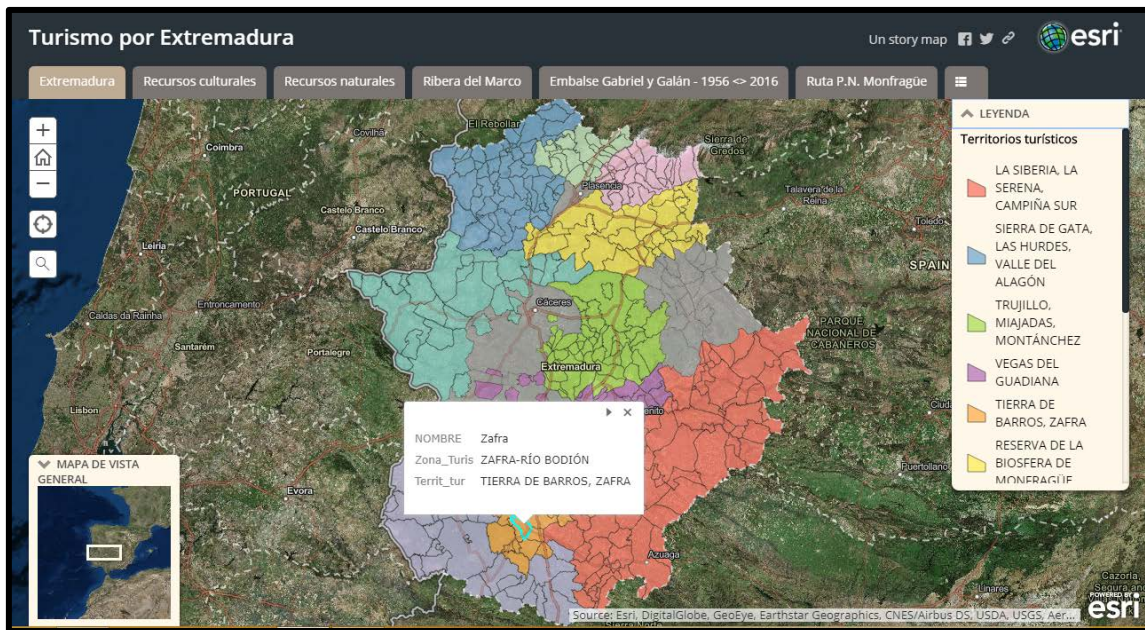


Figura 20. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Extremadura*

Como base, se empleó la plantilla Story Map Series. En ella se añadieron 7 pestañas, una por cada recurso anteriormente descrito y otra, la primera, de contexto (titulada *Extremadura*) y en la que se añadió un Web Map con la capa de municipios de Extremadura representados por territorio turístico (Junta de Extremadura, 2017). En las pestañas *Recursos culturales* (Figura 21) y *Recursos naturales* (Figura 22) se añadieron los Web Maps correspondientes. Pinchando sobre el elemento deseado, el usuario obtendrá una ventana emergente con información sobre el mismo.

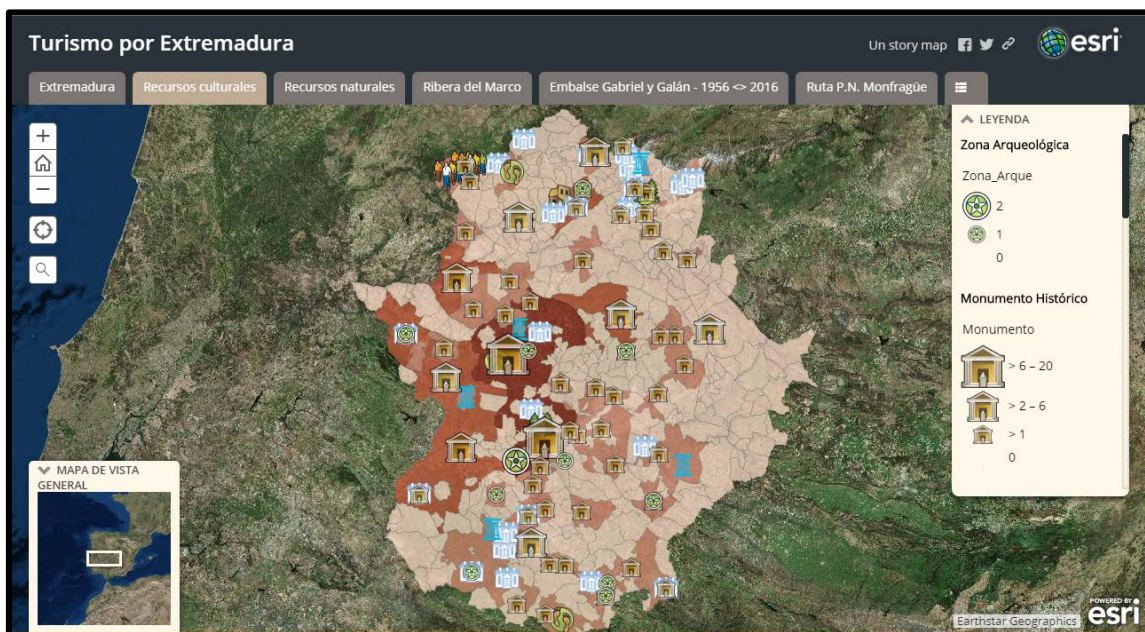


Figura 21. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Recursos culturales*



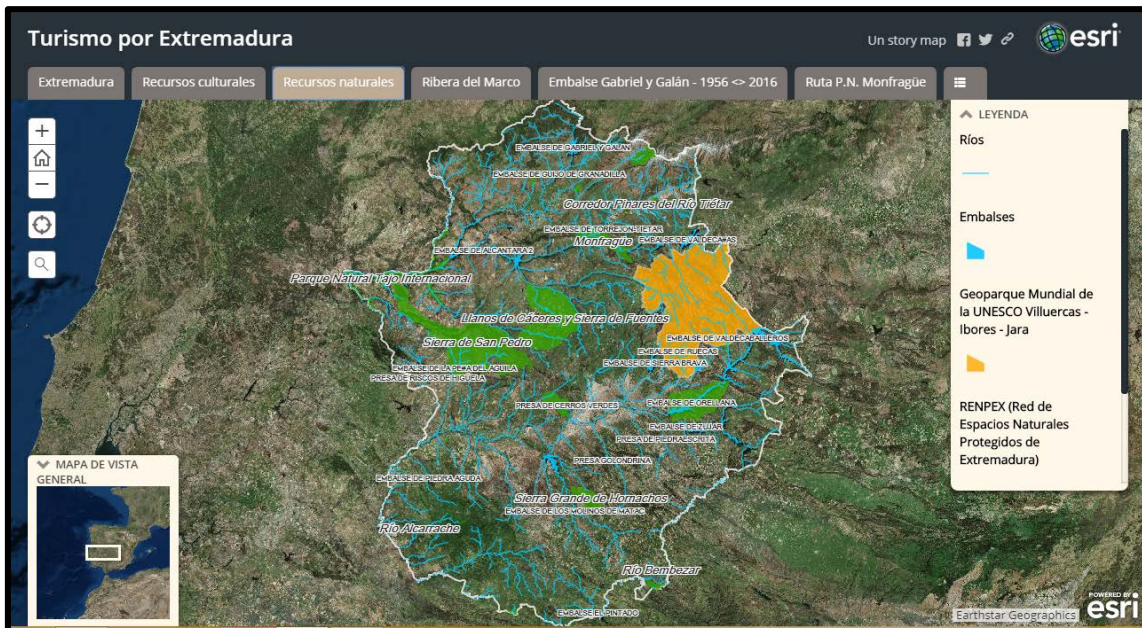


Figura 22. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Recursos naturales*

Pero si hay algo interesante es la posibilidad de combinar distintas Web Mapping Application, de tal modo que en la creada como base se han añadido otra Story Map Series con pestañas enumeradas dedicada a la Ribera del Marco (Figura 23) y una Story Map Swipe and Spyglass con la que poder comparar los Web Maps con ortofotografías del Embalse de Gabriel y Galán (Figura 24). Se podrá ver cómo en la pestaña dedicada a la Ribera del Marco se ha añadido información sobre cada ruta, imágenes y enlaces externos.



Figura 23. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Ribera del Marco*

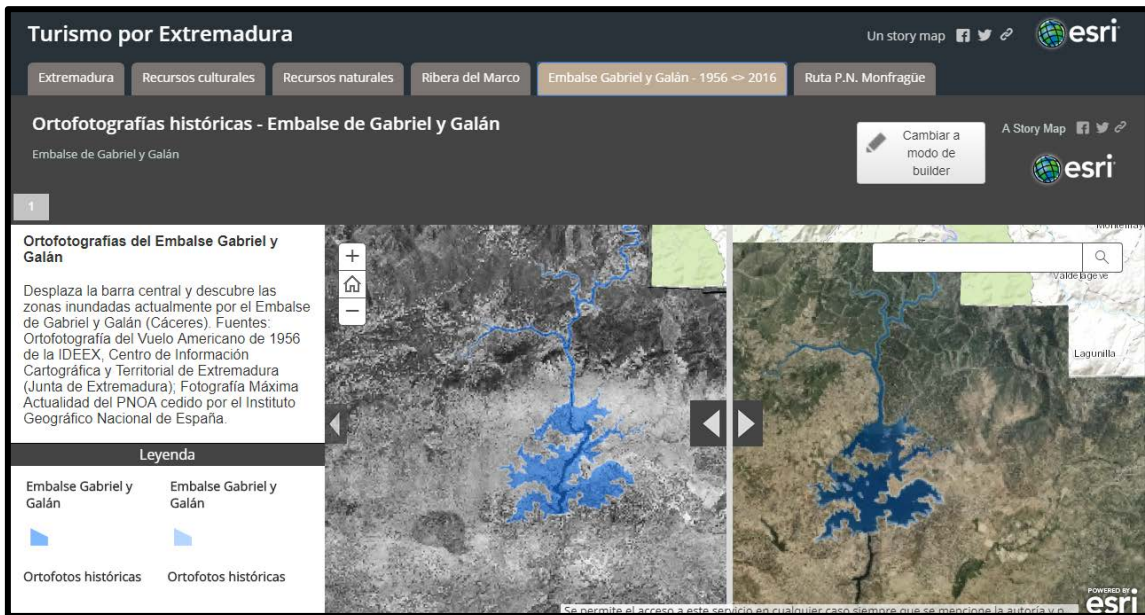


Figura 24. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Embalse Gabriel y Galán 1956 <-> 2016*

Sigue la pestaña Ruta P.N. Monfragüe, (Figura 25) a la que se ha añadido la Web Scene diseñada para ello insertando la URL resultante tras compartir la escena creada.

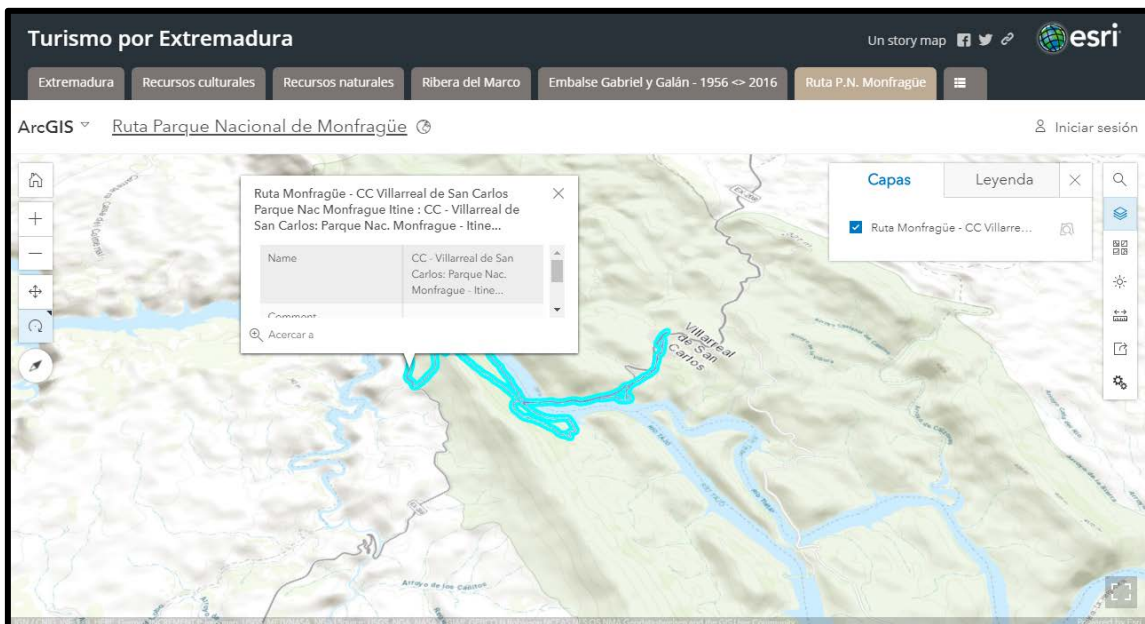


Figura 25. Geoportal "Turismo por Extremadura". Pestaña *Ruta P.N. Monfragüe*

Por último, una pestaña, titulada Empresas turísticas de Extremadura, con el Web Map con los servicios correspondientes a cada una de las tipologías de empresas turísticas de la región (Figura 26).



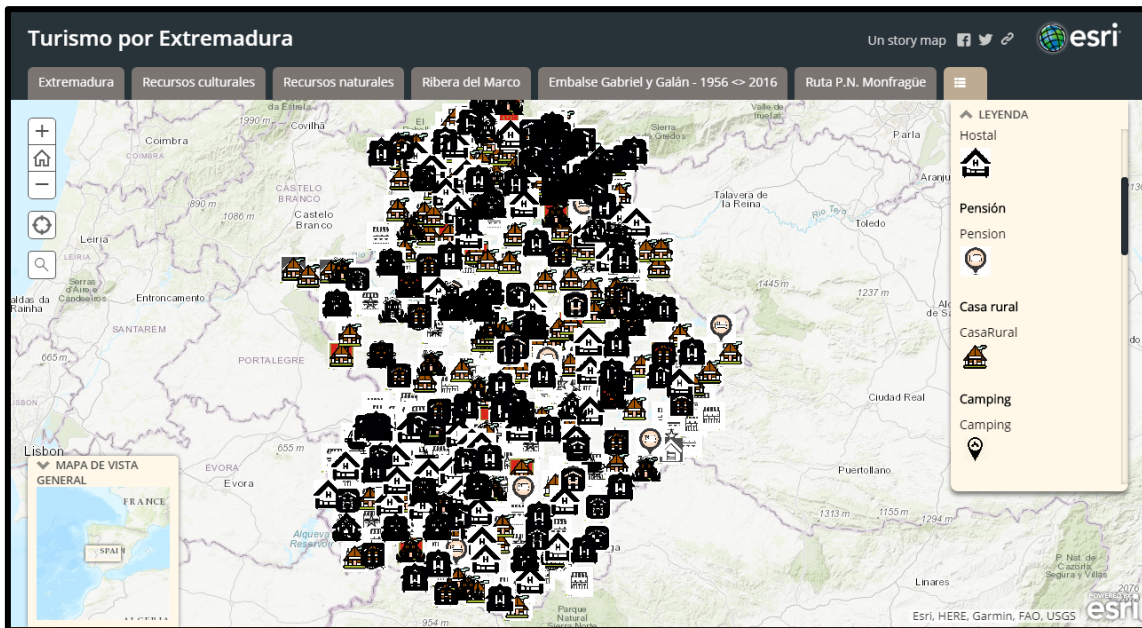


Figura 26. Geoportal "Turismo por Extremadura".  
Pestaña *Empresas turísticas de Extremadura*

## CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra cómo el empleo de una herramienta SIG web gratuita puede servir de forma efectiva para la promoción de recursos/destinos de interés turístico, mas, como con cualquier herramienta, por mucho que sean los beneficios, es necesario reflexionar cuándo y con qué objetivo usarlas, ya que no podrán suplir, nunca, el proceso experiencial que supone cualquier desplazamiento turístico. Sin embargo, desde este trabajo se apoya la concepción actual de la comunicación, generando contenidos digitales, interactivos y participativos que permitan al usuario vivir la experiencia de manera previa para conocer, de antemano, cuáles son tanto los puntos fuertes como los débiles de su destino.

Empleando aplicaciones como la presentada en este trabajo, ArcGIS Online, se permite, al usuario, navegar libremente por el territorio y gestionar su actividad turística futura, así como promocionarla y dar difusión de la misma en cualquier momento y sin ningún coste económico, algo importante a tener en cuenta, ya que este tipo de herramientas es significativamente útil tanto para entidades públicas (gobiernos regionales, ayuntamientos, oficinas de turismo, asociaciones turísticas,...) como privadas (promotoras turísticas, agencias de viajes,...).

Para el creador de la aplicación, aunque existan también inconvenientes (como la necesidad de poseer un amplio conocimiento en SIG, el empleo de servidores web que, en ocasiones, no son gratuitos, o saber programas para personalizar la interfaz o para añadir nuevas funcionalidades a la plataforma SIG), son múltiples las ventajas que existen y es de lo que hay que tomar provecho para que el ciudadano "de a pie" tenga cada vez más conocimiento del territorio que le rodea y se relacione con él. Así, una plataforma SIG web permite tener mapas disponibles las 24 horas de cada día a los que se puede acceder desde cualquier parte del mundo; permite importar/exportar capas de información en múltiples formatos, reduciendo esto la dependencia de formatos propietarios, y la sincronización y/o carga de información procedente de fuentes de datos externas; además, como se puede ver en este trabajo, las interfaces, tanto para el creador como para el usuario, son sencillas, amigables e intuitivas; y, por último, algo que se quiere destacar en esta aportación es que, gracias al empleo de

estas herramientas, existe la posibilidad de mejorar la competitividad del objeto que se emplea, en este caso de los recursos turísticos de Extremadura, siendo más productiva y colaborativa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, E. (2013). Turismo universal y accesible. El Geoparque de las Villuercas-Ibores-Jara. *Papeles de Geografía*, (57-58), 17-34.
- Amaro, J. L., y Jiménez, M. A. (2010): Reparto de competencias y responsabilidades cartográficas en España. Cómo se organiza la cartografía oficial en España. *Catastro: formación, investigación y empresa*. Selección de ponencias del I Congreso Internacional sobre catastro unificado y multipropósito.
- Bucley, A., Gahegan, M. y Clarke, K. (2000): *Geographic visualization as an emerging research theme in Giscience*. UCGIS
- Butler, D. (2006): The web-wide world. *Nature*, 439(7078), 776-778.
- Buzo, I. (2017): De las TIG a las TAG: integrando la información en el aprendizaje geográfico. *Enseñanza y aprendizaje de la Geografía para el siglo XXI*.
- Caro, J. L., Luque-Gil, A. M., y Zayas-Fernández, B. (2014): Aplicaciones tecnológicas para la promoción de los recursos turísticos culturales. *Tecnologías de la información para nuevas formas de ver el territorio*, XVI Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica, celebrado del 25 al 27 de junio de 2014, en Alicante. Madrid, AGE.
- Dodge, M. y Perkins, C. (2009): The 'view from nowhere'? Spatial politics and cultural significance of high resolution satellite imagery *Geoforum* (40), 4.
- Elwood, S. (2010): Geographic Information Science: Visualization, visual methods, and the geoweb. *Progress in Human Geography*, 35(3), 401-408. Flanagan, A. J., & Metzger, M. J. (2008). The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal*, 72(3-4), 137-148.
- Goodchild, M. (2007): Citizens as sensors: Web 2.0 and the volunteering of geographic information. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (7), 2.
- Goodchild, M., & Janelle, D. (2010). Toward critical spatial thinking in the social sciences and humanities. *GeoJournal*, 1(75), 10.
- Instituto Nacional de Estadística (2017): *Contabilidad Regional de España. Extremadura*.
- Junta de Extremadura (2017). *Plan Turístico de Extremadura 2017-2020*. Dirección General de Turismo de la Consejería de Economía e Infraestructuras.
- Kraak, M. J. (2007): Geovisualization and visual analytics. *Cartographica*, 42(2), 115-116. Lupp, M. (2008). Open geospatial consortium *Encyclopedia of GIS* (pp. 815-815). Springer.
- Leco, F., & Pérez, A. (2016): Recursos humanos y desarrollo rural: Parque Nacional de Monfragüe. *Territorio y desarrollo rural: aportaciones desde el ámbito investigador*, 108.
- Mateos, P. (2013): Geovisualización de la población: Nuevas tendencias en la web social. *Investigaciones geográficas* (60), 13.
- Muñoz, P., Martínez, E., & Garzón, G. (2013): Patrimonio geológico de Extremadura y conservación del paisaje. *Geogaceta*, 55, 47-50.
- Navarro, D. (2015): Recursos turísticos y atractivos turísticos: conceptualización, clasificación y valoración. *Cuadernos de Turismo* (35), 335-357.

- Nieto, A., y Cárdenas, G. (2015a): Publicación de los datos de los Grupos de Acción Local LEADER en Extremadura en un geoportal. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* (15), 29.
- Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015b). Aplicaciones TIG en el análisis y gestión de espacios rurales y urbanos. *Aplicaciones TIG en el análisis territorial*, 241.
- Olaya, V. (2009): Sistemas de Información Geográfica libres y geodatos libres como elementos de desarrollo. *Cuadernos Internacionales*, 8.
- Patterson, T. C. (2007): Google Earth as a (not just) geography education tool. *Journal of Geography*, 106 (4), 145-152.
- Sancho, A. (1998); *Introducción al turismo*. Madrid, Organización Mundial del Turismo.
- Timothy, D. J. (2011): *Cultural heritage and tourism: An introduction*. Channel View Publications.
- Zúñiga, J. A., Amador, J. J., Mejía, C., Morales, A., y Mota, C. I. (2014): Desarrollo de un entorno virtual tridimensional como herramienta de apoyo a la difusión turística de la zona arqueológica de Teotihuacán. *Acta Universitaria*, 24(4).



## TECNOLOGÍAS SIG APLICADAS AL DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE DE MÉRIDA

Manuel Díaz González<sup>1</sup> y Ana Nieto Masot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Consultor y técnico GIS en MB3 Gestión, manu.tecnogis@gmail.com,

<sup>2</sup>Instituto de Desarrollo Territorial Sostenible, Universidad de Extremadura. ananieto@unex.es

### RESUMEN

En la sociedad actual, la búsqueda de ciudades más sostenibles está generando que las Administraciones Públicas, empresas y organismos internacionales analicen los actuales procesos de crecimiento urbano a través de diferentes variables que puedan evidenciar desequilibrios ambientales, sociales y económicos. Tomando como área de estudio la ciudad de Mérida, se pretende conocer en profundidad las principales debilidades urbanas, con el fin de proponer líneas estratégicas que sirvan de soporte tanto para el desarrollo su Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado, como para fundamentar su seguimiento y evaluación. Por consiguiente, la utilización de los sistemas de información geográfica se presentan como instrumentos esenciales en la planificación urbana sostenible, pues funcionan como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común (secciones censales) permitiendo analizar la correspondencia entre diferentes variables, así como un conocimiento exhaustivo de la ciudad y su funcionamiento.

Palabras Clave: Estrategias, Urbanismo, Sostenible, GIS, Mérida.

### ABSTRACT

In today's society, the search for more sustainable cities is causing Public Administrations, companies and international organizations to study the current processes of urban growth. The study area of this article is the city of Mérida, the main objective of this research is to know in depth the main urban weaknesses, in order to propose strategic lines that serve as support for the development of its Sustainable and integrated Urban Development Strategy as to support its monitoring and evaluation. Therefore, the use of geographic information systems are presented as essential instruments in sustainable urban planning, as they function as a database with geographic information (alphanumeric data) that is associated by a common identifier (census sections) allowing to analyze the correspondence between different variables, as well as an exhaustive knowledge of the city and its functioning.

Key Words: Strategies, Urbanism, Sustainable, GIS, Merida.

## INTRODUCCIÓN

Según el último informe publicado por la Agencia Europea de Medio Ambiente<sup>1</sup>, los problemas como: la movilidad urbana, la contaminación atmosférica y ambiental, la degradación de zonas verdes, la concentración o el abandono poblacional, el exceso número de edificios obsoletos o la degradación de barrios, han contribuido a una continua degradación en la calidad de vida de las ciudades, haciéndolas paulatinamente menos sostenibles.

Para afrontar estos retos urbanos, la Orden HAP/2427/2015, de 13 de noviembre, publicada en el Boletín Oficial del Estado<sup>2</sup>, aprobó las bases para la primera convocatoria de Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado (EDUSI) cofinanciadas mediante el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de crecimiento sostenible 2014-2020, el cual señala dos objetivos fundamentales:

1) La articulación del diseño, análisis y selección de EDUSI susceptibles de captar las ayudas FEDER en 2014-2020, con cargo al Programa Operativo de Crecimiento Sostenible (POCS). Estas Estrategias deben considerar los siguientes retos urbanos: económicos, ambientales, climáticos, demográficos y sociales, para promover un desarrollo urbano sostenible, adaptándose a los principios y orientaciones estratégicas de los Fondos.

2) Las Estrategias contribuirán a definir un marco de trabajo que será desarrollado por las Entidades beneficiarias en la ciudad o área funcional si fuera el caso.

Los ámbitos territoriales en los que se definen las diferentes estrategias tienen casuísticas diferentes, siendo definida el área de acción de las Estrategias DUSI por las ciudades o áreas funcionales urbanas que cumplan alguno de los siguientes criterios poblacionales específicos:

1. Municipios de más de 20.000 habitantes.
2. Dos o más municipios de más de 20.000 habitantes, que no tienen por qué ser colindantes pero tienen que tener una problemática común.
3. Área funcional constituida por municipios de más de 20.000 habitantes colindantes en término municipal con otros menores de 20.000 habitantes, pero todos los de menos de 20.000 habitantes tienen que ser colindantes con el principal.
4. Área funcional conformada por agrupaciones de municipios de menos de 20.000 habitantes en los que tiene que haber una continuidad urbana física entre ellos y cuya suma de población sea mayor de 20.000 hab.

El ámbito territorial definido en el presente trabajo corresponde con el apartado anterior: *1) Municipios de más de 20.000 habitantes*, siendo elegida la ciudad de Mérida.

Las razones para su elección se basan en su tamaño intermedio, 59.174 habitantes según el INE para el año 2016, facilitando análisis estadísticos más concretos, además de su relevancia regional, al ser la capital de la Comunidad Autónoma de Extremadura y tercera en tamaño poblacional, por detrás de las capitales de provincia: Badajoz y Cáceres.

En los últimos veinte años, Mérida ha aumentado su población un 16,03% (50.478 habitantes tenía el año 2000 y 60.119 en el 2017, INE) en un total de 9.641 habitantes, elevando así su rango urbano. A este hecho han contribuido entre otras cuestiones la adquisición del carácter de capital de la Comunidad Autónoma y el inicio de un despegue turístico propiciado por su patrimonio histórico. A grandes rasgos, su dinamismo económico se basa

---

<sup>1</sup> Accesible en:

[http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Garantizar\\_la\\_calidad\\_de\\_vida\\_en\\_Europa\\_Primeras\\_p%C3%A1ginas\\_tcm7-213616.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Garantizar_la_calidad_de_vida_en_Europa_Primeras_p%C3%A1ginas_tcm7-213616.pdf)

<sup>2</sup> Accesible en: <http://boe.es/boe/dias/2015/11/17/pdfs/BOE-A-2015-12423.pdf>

en el fuerte impulso del sector servicios, que se caracteriza por el elevado volumen de funcionarios que trabajan para el gobierno regional (Consejerías, Asamblea, fundaciones públicas, etc.), poniendo de manifiesto que en el contexto regional avanza como núcleo urbano y polo de actividad económica. Sin embargo esta tendencia podría mejorarse en un mayor incremento de población y calidad de vida y de ahí, la posible implementación de estrategias de desarrollo urbano como las EDUSI.

En el plano urbano, Mérida se divide en 6 Distritos según la Ley de Grandes Ciudades y éstos a su vez se dividen en barriadas. Sus principales características son:

Distrito 1: corresponde al casco urbano de la ciudad que, junto con el distrito 2 fueron las primeras zonas de urbanización de la ciudad, es donde se localiza la Plaza de España y gran parte del centro comercial. Está conformado por barrios donde predominan edificios residenciales de antigua construcción y de planta baja y el tramado urbano se dibuja a través de calles estrechas y manzanas de forma irregular. Los porcentajes de población envejecida son superiores a la media registrada en la ciudad y por ello, la tasa de población joven en esta área es una de las más bajas.

Distrito 2: Corresponde con el resto de la zona centro, donde se asientan la Alcazaba Árabe o el Templo de Diana (de la época romana cuando Mérida con el nombre de Emerita Augusta era uno de los principales centros urbanos de Hispania) como monumentos históricos más destacables. Es una de las zonas más turísticas de la ciudad donde se localiza un elevado número de locales de restauración y las sedes del gobierno regional: Presidencia y Asamblea. A pesar de ser una de las zonas más dinámicas, la población muestra también síntomas de envejecimiento generalizado.

Distrito 3: situado al este de la ciudad, comprende las barriadas Zona Sur, San Albí, Argentina, Plantonal de Vera, Bodegones, Salesianos, Nuestra Señora de la Antigua y Reina Sofía. Puede considerarse como la zona más atractiva de la ciudad donde el tramado urbano es regular, de amplias avenidas y edificios de construcción moderna. Alberga el Centro Universitario de Mérida y los institutos con mayor número de alumnos como Santa Eulalia, Salesianos, Escolapias o el Instituto de Formación Profesional entre otros. El comercio pasa de estar centrado en pequeños establecimientos (como en los Distritos 1 y 2) a centros comerciales de mayor superficie. Es en esta franja donde se ubican los mayores emblemas históricos y turísticos de la ciudad: el Teatro y Anfiteatro romano. También están localizados en este distrito los mayores ingresos por hogar y un elevado porcentaje de población joven.

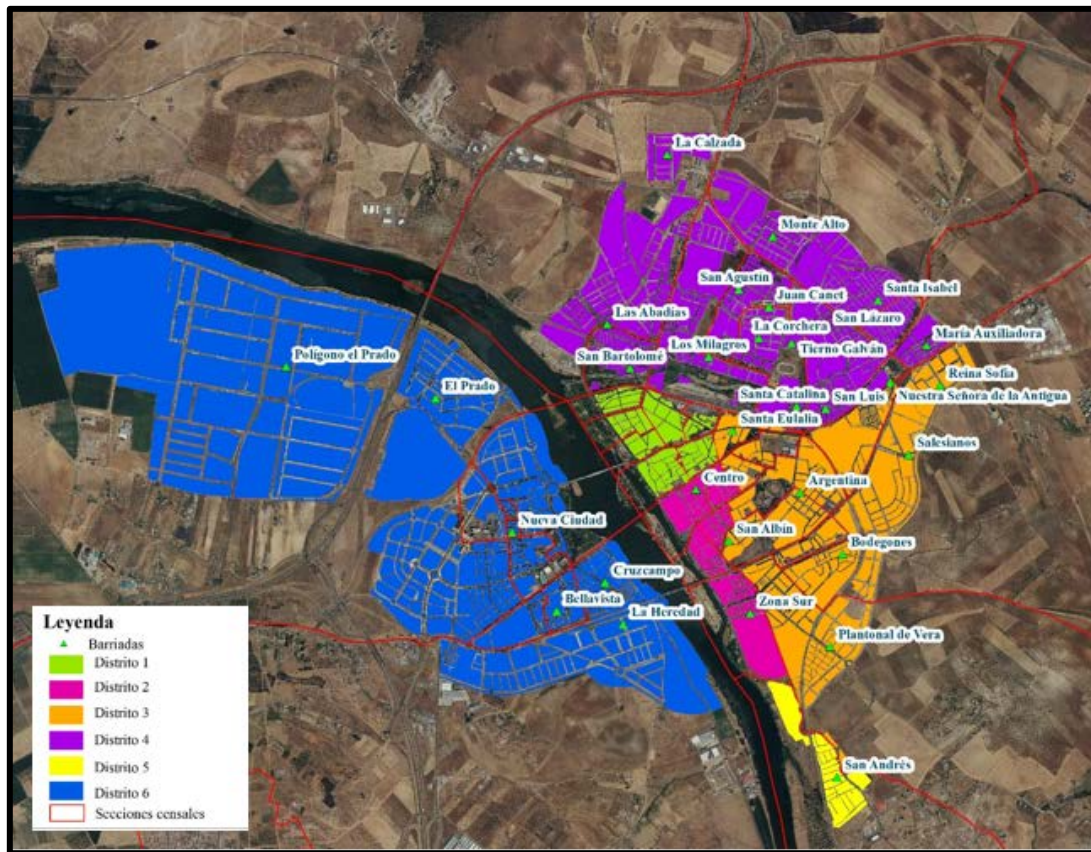
Distrito 4: situado al norte de la ciudad, comprende los barrios de: Los Milagros, Santa Eulalia, Las Abadías, San Bartolomé, Jardín de Mérida, Juan Canet, Proserpina, Montealto, La Corchera, San Agustín, Lázaro, Santa Isabel, Tierno Galván, Vía de la Plata y La Calzada. Esta zona es una de las más heterogéneas: por una parte, se sitúan barrios de construcción moderna y unifamiliar como Montealto, La Corchera, Proserpina, Vía de la Plata y La Calzada, donde viven familias jóvenes. De otra parte, los Barrios de Lázaro, San Agustín y Santa Isabel con un marcado carácter marginal, la población la conforman minorías gitanas, inmigrantes y familias de recursos económicos insuficientes, siendo considerada como la zona más desfavorecida de la ciudad. Recientemente, se han construido viviendas aledañas a estas barriada, cuyas familias no tienen las mismas características socioeconómicas mencionadas y también se ha construido una amplia zona destinada a la Administración de la Junta de Extremadura, judicial y policial, conocida como III Milenio como medidas para luchar contra la marginación de estos barrios e introducir dinamismo económico.

Distrito 5: que ocupa exclusivamente la barriada de San Andrés, está localizado en la zona sur de la ciudad. Es considerado en la ciudad como un pequeño pueblo, por ser la zona con menor población, son 650 vecinos los que habitan quizás en la barriada más aislada, pero no por ello carecen de servicios básicos como colegios con

comedor y transporte escolar, tiendas de alimentación, establecimientos de hostelería, autobús urbano e incluso, un pequeño polígono industrial.

**Distrito 6:** está delimitado por los barrios de la margen izquierda: Nueva Ciudad, San Antonio, Cruzcampo, Miralrío, La Heredad, Prado Viejo, Bellavista y El Prado. Es el distrito como mayor superficie urbana, ya que engloba toda la margen izquierda de la ciudad. Su amplitud da lugar a barriadas de rasgos muy diferentes: las barriadas de Bellavista y Cruzcampo, son zonas con una población de recursos económicos bajos y que a veces tienden a la marginalidad; por el contrario, las zonas más al oeste, se caracterizan por un urbanismo de reciente construcción, de viviendas unifamiliares con amplias superficies y con una población de alto poder adquisitivo. En la barriada de Nueva Ciudad se ubica la instalación sanitaria de mayor influencia, el hospital de Mérida, y esta zona es también conocida como “el polígono” debido a que la forma de su tramado urbano se aproxima a un polígono regular.

Por último, señalar que estos distritos y barriadas se configuran bajo un total de cuarenta y dos secciones censales (Figura 1).



**Figura 1.** Plano urbano de Mérida, distritos, barriadas y secciones censales. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE (2017)

Esta área territorial seleccionada puede ser objeto de una EDUSI a largo plazo, entendiéndose como un proyecto integrado, al margen de que se ejecuten operaciones puntuales de mejora urbana en diferentes áreas. Dicha Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado es un documento, concreto y sistemático, de carácter estratégico que debe considerar los desafíos urbanos (económicos, ambientales, climáticos, demográficos y sociales) para promover un desarrollo urbano sostenible.



Ante todo lo comentado, y considerando que las EDUSI tienen un fuerte componente territorial, es decir, se desarrollan sobre un territorio con actuaciones específicas, surge la necesidad de demostrar la eficacia de los Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG) para facilitar a los organismos locales la elaboración y seguimiento de sus respectivas estrategias. Los SIG tienen la capacidad de definir un punto de partida en la aplicación de actuaciones sostenibles, administrando la información de manera compartida, generando mayor transparencia al informar a los ciudadanos sobre dónde se necesita desplegar más recursos y por qué. A su vez, permiten representar de manera eficaz una radiografía real de las ciudades a través del diagnóstico y análisis de diferentes variables territoriales.

## ESTADO DE LA CUESTIÓN

En la década de los años 90, la preocupación por estudiar el comportamiento de las ciudades y determinar su correcto grado de sostenibilidad comienza a tomar fuerza en el seno del Parlamento Europeo, siendo el 15 de junio de 1994<sup>1</sup> la fecha en la que la Comisión de las Comunidades Europeas decidió establecer una iniciativa comunitaria referente a las zonas urbanas, en lo sucesivo denominada URBAN. Esta Iniciativa Comunitaria se caracterizaba específicamente por introducir acciones innovadoras en el modo de concebir las políticas dirigidas a la rehabilitación de los barrios degradados (Reiter, 2008), con especial relevancia a factores como: exclusión social, altas tasas de desempleo, elevado grado de delincuencia, población sin estudios, etc.

La Iniciativa Urban sirvió como primera experiencia en materia de regeneración urbana desde una perspectiva centrada en cuestiones socioeconómicas, abriendo el camino a la política urbana sostenible de la UE enfocada a la realidad urbana. Este nuevo enfoque debía interpretarse a través de un proceso más amplio definido como: la *territorialización* de las políticas comunitarias (Gutiérrez, 2009), el cual, analizaba el impacto de las políticas sectoriales y la creación de nuevas iniciativas que debían de ajustarse a las características de cada realidad espacial (Dukes, 2008).

Los planes URBAN, fueron por tanto el punto de encuentro entre las políticas de cohesión social y las de reequilibrio territorial (CE, 2003; Urban Future, 2005). Durante el periodo de programación 1994-1999, esta Iniciativa invirtió más de 900 millones de euros, para un total de 118 zonas urbanas, alcanzando una población estimada de 3,2 millones de personas. Se reconoció la necesidad de abordar los problemas urbanos y centrar a las ciudades como polos de innovación, nodos fundamentales en la articulación territorial y motores del crecimiento económico. A su vez, se deberían abordar cuestiones como la exclusión y la segregación social a través de instrumentos específicos que complementasen las políticas estructurales (Drewe, 2008). Al mismo tiempo, la puesta en marcha de la Iniciativa URBAN permitió el paso de unas políticas urbanas implícitas a unas políticas explícitas (Parkinson, 2005).

Por ello, URBAN genera nuevas oportunidades en diferentes áreas urbanas europeas, renovando la estructura social de los barrios basándose en la idea programática que define que la acción local es clave para lograr los objetivos estratégicos globales (Tofarides, 2006), motivo por el cual, es necesario trasladar el protagonismo del diseño y ejecución de las políticas públicas a las entidades locales, reforzando las iniciativas *bottom-up* (Davoudi, et al. 2008), que también se han desarrollado en otro tipo de Iniciativas europeas como LEADER en los territorios rurales o EQUAL para políticas de empleo. Este tipo de estrategia representa una innovación en la manera de gestionar políticas públicas (Nieto y Cárdenas, 2015) ya que son los agentes sociales, políticos y económicos del territorio de actuación, en este caso una ciudad, los que aprueban, diseñan y ejecutan

---

<sup>1</sup> Accesible en:

[http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:JOC\\_1994\\_180\\_R\\_0006\\_01&from=ES](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:JOC_1994_180_R_0006_01&from=ES)

ayudas públicas para implementar proyectos que logren dinamismo económico y reduzcan las desigualdades sociales entre diferentes barrios de un mismo núcleo urbano.

El éxito de la convocatoria URBAN, propició que la Comisión Europea decidiese seguir invirtiendo en políticas de regeneración urbana, programando URBAN II para el periodo 2000-2006, con un presupuesto de 730 millones de euros con cargo exclusivamente al FEDER. El foco de esta convocatoria se centraba en promover modelos de desarrollo innovadores, capaces de reactivar las zonas urbanas en crisis económica y social. Por consiguiente, los objetivos del programa URBAN II se concretaron en la regeneración económica y social de las ciudades pequeñas y medianas o de los barrios en dificultades a través de una serie de estrategias basadas en la cooperación local, en un enfoque territorial integrado, en el fomento de la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, en la integración de aspectos económicos, sociales y medioambientales y en la complementariedad con otras iniciativas comunitarias como INTERREG III, LEADER+ o EQUAL. Las zonas subvencionables deberían ser de al menos 20.000 habitantes y formar una entidad geográfica y socioeconómica homogénea, que a su vez, debería prestar síntomas de crisis urbana precisando, por ello, una renovación económica y social. Además, deberían reunir al menos tres de los siguientes requisitos: tendencia demográfica desfavorable, elevada tasa de desempleo, pobreza o exclusión, bajo nivel educativo, bajo nivel de actividad económica y social, ingresos por debajo de la media, medio ambiente particularmente degradado, número elevado de inmigrantes o elevada tasa de delincuencia.

A modo de síntesis, las iniciativas URBAN y URBAN II, definieron objetivos y líneas generales de actuación en el marco del desarrollo urbano sostenible hasta el año 2007. La aplicación del principio de subsidiariedad<sup>1</sup>, permitió a los actores locales beneficiarios de estos programas definir su propia estrategia de desarrollo local. Uno de los puntos fuertes de URBAN fue asumir y adaptar numerosas variables para analizar e implantar las actuaciones innovadoras específicas de las diferentes zonas urbanas, siendo necesario la cooperación y corresponsabilización de todos los niveles de la administración implicados, así como la participación de todos los agentes locales y la creación de redes de intercambio de conocimientos (Gutiérrez, 2009).

En el periodo 2007-2013 surge una reestructuración de las Iniciativas Comunitarias y la Comisión desestima dar continuidad a las iniciativas URBAN<sup>2</sup> porque son integradas en diferentes objetivos de la UE. La pérdida del instrumento emblema de la UE para la dinamización y regeneración de las áreas urbanas se entendió como un paso hacia atrás dentro de las políticas de planificación urbana y cohesión social de la UE. Durante estos años se pierde la óptica específica de las ciudades que ya la ETE en 1999 defendía: "*actualmente, numerosos problemas locales no pueden solucionarse sin un enfoque integrado de la ciudad y el campo, puesto que son también problemas de carácter regional*" (Comisión Europea, 1999)."

Habría que esperar hasta el año 2013 para el resurgir de un nuevo giro hacia las políticas de desarrollo urbano sostenible, siendo transcendental la publicación del Reglamento 1301/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de diciembre de 2013, en relación al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), que establece en su artículo 7.1 un importante apoyo financiero a través de programas operativos al desarrollo urbano sostenible. Para ello, propone diferentes tipos de inversión en estrategias capaces de combatir los retos

---

<sup>1</sup> El principio de subsidiariedad pretende acercar a la UE y a sus ciudadanos asegurando que se adoptan acciones a nivel local cuando es necesario. Contribuye a que las decisiones sean adoptadas lo más cerca posible de las personas.

Accesible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv%3Aai0017>

<sup>2</sup> La incorporación de nuevos países como: Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Hungría, Letonia, Lituania, Malta, Polonia, República Checa en el 2004, Bulgaria y Rumanía en 2007 y por último Croacia en 2013, transformaron el presupuesto de la Unión, aumentando partidas presupuestarias destinadas a iniciativas de diferente índole como la Cooperación Transfronteriza y eliminando otras URBAN.

económicos, sociales, ambientales y demográficos de las zonas urbanas. Por ello, y como novedad, en el nuevo periodo 2014-2020, además de la dotación mínima del 5% del FEDER para actuaciones integradas de desarrollo urbano sostenible, se incide en el fortalecimiento del papel de las redes sectoriales en las actuaciones urbanas. En particular, la Red de Iniciativas Urbanas se configura como un mecanismo de coordinación, impulso, orientación, capacitación de los gestores urbanos, apoyo a la gestión, y evaluación de actuaciones en materia urbana cofinanciadas por Fondos Estructurales y sigue siendo un instrumento necesario para compartir buenas prácticas y difundir los resultados de los proyectos urbanos que reciben financiación europea, con dos tareas muy precisas por acometer en el territorio español: la definición de una Agenda Urbana para España, en línea con los principios y orientaciones de la Unión Europea; y la redacción de unas bases o líneas estratégicas de carácter general que sirvan de soporte y orientación tanto para el desarrollo de las estrategias integradas de ámbito local como para fundamentar su seguimiento y evaluación.

Son numerosos los estudios que han analizado los ya mencionados retos de las ciudades para buscar un equilibrio urbano (Fernández, 1994; Habitat, 1996; Lahosa, 2002; De Gregorio, 2007; Hableton y Gross, 2007; Goñi, 2008), sin embargo, debido a las rápidas transformaciones de las estructuras sociales, económicas y urbanísticas en estas áreas, se hace necesario la aplicación de técnicas SIG que ayuden a la actualización y agilización de la información espacial urbana y ofrezcan métodos de análisis capaces de aplicar una correcta Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible.

La ciudad es una gran generadora de datos y las nuevas tecnologías de información geográfica nos permiten ampliar el zoom y disminuir la escala, para extraer mejor lo que sucede y entender su comportamiento (Bustillo y Rodríguez, 2015).

Por consiguiente, el objetivo principal de este artículo es recopilar información geoestadística de la ciudad de Mérida y analizar el área urbana desde una perspectiva integradora, a través de una serie de indicadores: económicos, demográficos, sociales y urbanos que presentan una vinculación espacial por secciones censales. Estos indicadores se adaptan según lo dispuesto en el artículo 7.1 del Reglamento FEDER<sup>1</sup>, para favorecer el desarrollo urbano sostenible, de acuerdo a los principios y orientaciones estratégicas de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos. Por lo tanto, a través de estos indicadores se trabajaría de forma eficiente y real en el seguimiento y cumplimiento de las diferentes Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible de otros espacios españoles o europeos.

## OBJETIVOS

Este estudio pretende plasmar una primera aproximación de los problemas urbanos de la ciudad de Mérida a la hora de diseñar una Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible. Empleando algunas de las posibilidades de análisis de los Sistemas de Información Geográfica se han podido detectar aquellos obstáculos o cuellos de botella que las autoridades locales deberán enmendar. Estos hándicaps urbanos no solo tienen en cuenta las debilidades o necesidades sino también los recursos existentes y potencialidades según los diferentes casos.

La temática elegida responde a la necesidad de obtener un conocimiento fehaciente sobre el comportamiento actual y tendencia de la ciudad, y de esta forma, identificar las múltiples dificultades a las que se enfrenta a la hora de impulsar y diseñar una estrategia de desarrollo urbano sostenible. Así pues, el objetivo general que se persigue es conocer en profundidad las principales debilidades y amenazas que afectan al entorno

---

<sup>1</sup> Accesible en: [http://boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-12423](http://boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-12423)

urbano así como sus fortalezas, y los principales factores y claves territoriales de su desarrollo para abordar los retos a los que se enfrentan las áreas urbanas, transformando éstos en oportunidades.

Por otra parte, pueden citarse los siguientes objetivos específicos en este estudio de investigación:

- Ordenar los datos con información catastral y temática a nivel de sección censal (datos sociodemográficos, económicos, urbanísticos, etc.) de la ciudad de Mérida y generar una base de datos denominada UrbanSIG\_Mérida.
- Analizar la realidad urbanística y sociodemográfica del área urbana delimitada a través de los indicadores más relevantes: tasa de dependencia, de vejez, índice de envejecimiento, índice de juventud, desempleo, variación de la población, tamaño y distribución de los hogares, viviendas o edad del parque edificado como más representativos.
- Exportar la base de datos y toda la información recopilada a la cartografía a escala de detalle (secciones censales) para identificar las áreas prioritarias para iniciar actuaciones y propuestas integradas de desarrollo urbano sostenible.
- Utilizar las tecnologías SIG para representar de manera eficaz el conjunto de variables analizadas para diagnosticar patrones de evolución y pautas. Se trata pues de demostrar como los SIG pueden convertirse en un instrumento fundamental para la gestión local urbana sostenible, aceptando la idea que el aprovechamiento del SIG no es sólo una hoja de inventario sobre un mapa o en la pantalla de un ordenador de alta tecnología "muchas técnicas complejas y pocos resultados prácticos" (Bosque, 1992), sino que además son capaces de generar un valor añadido.
- Abordar un análisis espacial para detectar posibles agrupaciones espaciales en base a los valores de los indicadores propuestos en esta investigación (Índice Local de Moran y el Análisis de Punto Caliente). Estos indicadores de asociación espacial son estadísticos que evalúan la existencia de grupos (cluster) en la distribución espacial de una variable dada, y a su vez, la autocorrelación espacial muestra información acerca del comportamiento de la información georreferenciada a escala censal, en particular el tipo de asociación existente entre unidades espaciales vecinas. El concepto de AE tiene sustento en el principio de Tobler (1970) donde "todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes".

## **METODOLOGÍA**

### **Fuentes de datos**

Para la realización del presente estudio se ha recopilado la siguiente información detallada del tejido urbano emeritense:

- Cartografía perteneciente al límite municipal, las manzanas y secciones censales de Mérida, procedentes del Proyecto Cartociudad del Ministerio de Fomento a través de la información suministrada por el Centro Nacional de Información Geográfica (en adelante CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (en adelante IGN).
- Información sociodemográfica, procedente del Instituto Nacional de Estadística, se analizaron datos estadísticos de los Censos de Población de 2001 y del 2011, del Padrón de 2015, de la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) y de la Encuesta de Población Activa (EPA).

## **Preparación de la Cartografía**

Todos estos datos cartográficos y sociodemográficos se organizaron en una base de datos ordenada por códigos según sección censal hasta un total de cuarenta y dos que constituyen el núcleo urbano de Mérida. Para representarlos con mayor grado de detalle se decidió agregar la información estadística de las diferentes secciones censales a su representación espacial de “manzanas”. Para ello, se efectuó una unión espacial entre la capa correspondiente de las “manzanas” y la de las “secciones censales” a través de la operación de localización espacial del software ArcGIS. De esta forma, se obtuvo en una única capa vectorial las manzanas vinculadas a las diferentes secciones censales. El resultado consistió en relacionar las 1.554 manzanas en 42 secciones censales codificadas por el identificador de las secciones censales (Cod\_Secc, un código de 11 dígitos) y, así poder utilizar éste para posteriores uniones de información sociodemográfica (Mateos, 2012, 2013). Esta técnica permite que las manzanas estén insertadas completamente en la capa vectorial que se superpone, en nuestro caso las secciones censales (Nieto y García, 2014). Evidentemente, se produjeron algunos errores de asignación, siendo necesario revisar la cartografía posteriormente.

## **Elaboración de los indicadores de desarrollo urbano sostenible**

La gran mayoría de trabajos que analizan los espacios urbanos suelen ser o empíricos o bien análisis enfocados en áreas reducidas, esto se debe en gran medida a la falta de información homogénea, así como a la complejidad y heterogeneidad del entramado urbano.

Debido a esta argumentación, en esta investigación se ha empleado una serie de información estadística que a través de técnicas SIG pretende conocer en profundidad los retos urbanos de Mérida, con el objetivo de proponer líneas estratégicas que sirvan de soporte para el desarrollo de una Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado.

Las fuentes estadísticas consultadas a nivel inframunicipal han permitido extrapolar una serie de variables tanto cuantitativas como cualitativas, las cuales, fueron fundamentales para crear la base de datos que posteriormente se utilizó en el tratamiento cartográfico, dando lugar a una capa de archivo vectorial denominada “Cartografía urbana sostenible”.

Precisar, que los indicadores que a continuación se presentan, se adaptan a los propuestos por el Grupo de Trabajo sobre Estrategias Integradas en Actuaciones de Desarrollo Urbano Sostenible, consensuados el 19 de mayo de 2014 en el documento marco: “Orientaciones para la definición de estrategias de desarrollo urbano sostenible integrado en el periodo 2014-2020”, cuya coordinación corresponde al Ministerio de Fomento, con el objetivo de elaborar y ofrecer unas orientaciones que faciliten el desarrollo urbano sostenible por parte de las Entidades Locales. Se estructuran en tres niveles de información:

Indicadores demográficos: se identifican los parámetros: variación de la población, envejecimiento, dependencia de mayores, porcentaje de población joven y fenómenos migratorios. Este componente nos arroja información de áreas demográficas más o menos dinámicas.

Indicadores económicos: se presentan aspectos relacionados con el mercado de trabajo: desempleo e ingreso medio de hogares, así como la distribución y localización de los usos catastrales (superficie comercial y de servicios públicos) que nos va a permitir identificar aquellas áreas urbanas con mayor o menor peso económico.

Indicadores urbanísticos; se analiza la situación del parque edificatorio: distribución de las viviendas y hogares, así como el estado de los edificios residenciales (antigüedad) para determinar zonas con un deterioro urbano significativo, siendo éstas a su vez las que mayor potencial tienen para efectuar proyectos de rehabilitación.

De manera esquemática, estos indicadores se desglosan en un conjunto de variables con la nomenclatura EDUSI, las cuales han sido relativizadas para su posterior tratamiento estadístico de manera homogénea (Tabla I).

**Tabla I.** Principales indicadores, unidad, descripción, fuente y periodo. Fuente: Elaboración Propia.

<b>Código</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>	<b>Periodo</b>
<b>EDUSI_1</b>	Dependencia de mayores	Porcentaje %	Población mayor de 65 años con respecto a la población de 16 a 64	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_2</b>	Tasa de vejez	Porcentaje %	Población mayor de 65 años con respecto al total de población.	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_3</b>	Índice de envejecimiento	Porcentaje %	Población mayor de 65 años con respecto a la población menor de 15	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_4</b>	Juventud	Porcentaje %	Población menor de 15 años con respecto al total	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_5</b>	Desempleo	Porcentaje %	Número desempleados con respecto a la población activa	Encuesta de Población Activa (EPA)	2015
<b>EDUSI_6</b>	Variación de la población	Porcentaje %	Diferencia entre la población de 2011 y 2001 por sección censal	Censo de Población	2001/11
<b>EDUSI_7</b>	Población	Porcentaje %	Población total por sección censal	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_8</b>	Hogares	Porcentaje %	Porcentaje de hogares por sección censal en relación al total de hogares	Censo de Población y Viviendas	2015
<b>EDUSI_9</b>	Hogares hasta 2 personas	Porcentaje %	Hogares formados hasta un total de dos personas	Censo de Población y viviendas	2015
<b>EDUSI_10</b>	Hogares de más de 2 personas	Porcentaje %	Hogares formados por más de dos personas	Censo de Población y viviendas	2015
<b>EDUSI_11</b>	Viviendas	Porcentaje %	Porcentaje de viviendas en relación al total de viviendas	Censo de Población y viviendas	2015
<b>EDUSI_12</b>	Ingresos	Porcentaje %	Ingresos medios por sección censal	Encuesta de Condiciones de Vida (ECV)	2015

<b>EDUSI_13</b>	Inmigración	Porcentaje %	Población total extranjera en relación a la población total por sección censal	Padrón Continuo	2015
<b>EDUSI_14</b>	Oficinas	Porcentaje %	Porcentaje de edificios públicos destinados a servicios oficinas en relación al total de edificios	Dir.Gral. Catastro	2015
<b>EDUSI_15</b>	Residencial antiguo	Porcentaje %	Porcentaje de uso residencial antiguo (anterior 1980) en relación al total de edificios residenciales	Dir.Gral. Catastro	2015

### Patrones de Localización Espacial

Para determinar la auto-correlación espacial (AE) se utilizaron como herramientas geoestadísticas el Índice de Moran Global (Moran, 1950), el I Anselin Local de Moran (López y Palacios, 2000: 6) y el Análisis de Punto Caliente  $G_i^*$  de Getis-Ord (Getis and Ord, 1992). Estas técnicas geoestadísticas nos permiten medir la relación entre observaciones con proximidad espacial por si poseen valores parecidos y se localizan agrupaciones espaciales (clustered) con las mismas características demográficas y socioeconómicas, ya sean de indicadores positivos o negativos (por ejemplo, concentración de secciones próximas con alto índice de envejecimiento).

#### I de Moran Global

El primer paso en este aspecto fue evaluar si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio, y para ello se utilizó la herramienta de autocorrelación espacial I de Moran Global. Es una medida geográfico-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice varía entre  $-1$  y  $+1$ , donde los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean estos altos o bajos. También señalar que aquellos valores cercanos a cero indican la falta de una relación espacial entre los valores de análisis. El I de Moran Global representa una estadística que relaciona la intensidad de autocorrelación entre grupos de unidades territoriales, pero no identifica el patrón de estas relaciones espaciales. Para establecer el grado de correlación entre las unidades utilizaremos el I de Moran Local.

Esta prueba estadística parte de una hipótesis nula que consiste en la Aleatoriedad espacial completa (CSR), ya sea de las entidades o de los valores asociados. Se obtienen unas puntuaciones  $z$  y valores  $p$  para rechazar o no la hipótesis nula, que consiste en que los datos espaciales se localizan en el espacio aleatoriamente, no existen concentraciones espaciales. En relación al valor  $p$ , precisar que se trata de una probabilidad y según esta técnica cuando el valor  $p$  es muy pequeño, significa que es muy poco probable (baja probabilidad) que el patrón espacial observado sea el resultado de procesos aleatorios, por consiguiente, existe concentración

(clustered) y se puede rechazar la hipótesis nula. En cuanto a las puntuaciones  $z$ , señalar que se trata de desviaciones estándar. Las puntuaciones  $z$  muy altas o muy bajas (negativas), asociadas con valores  $p$  muy pequeños, se encuentran en las colas de la distribución normal y nos representan también agrupaciones espaciales. Si ejecutamos el  $I$  de Moran global y el resultado son valores  $p$  pequeños y puntuaciones  $z$  muy altas o muy bajas con valores superiores a  $+2,58$  ó  $-2,58$  podremos rechazar la hipótesis nula y determinar que se obtiene clustered. Tanto las puntuaciones  $z$  como los valores  $p$  se asocian con la distribución normal estándar como se muestra en la figura 2.

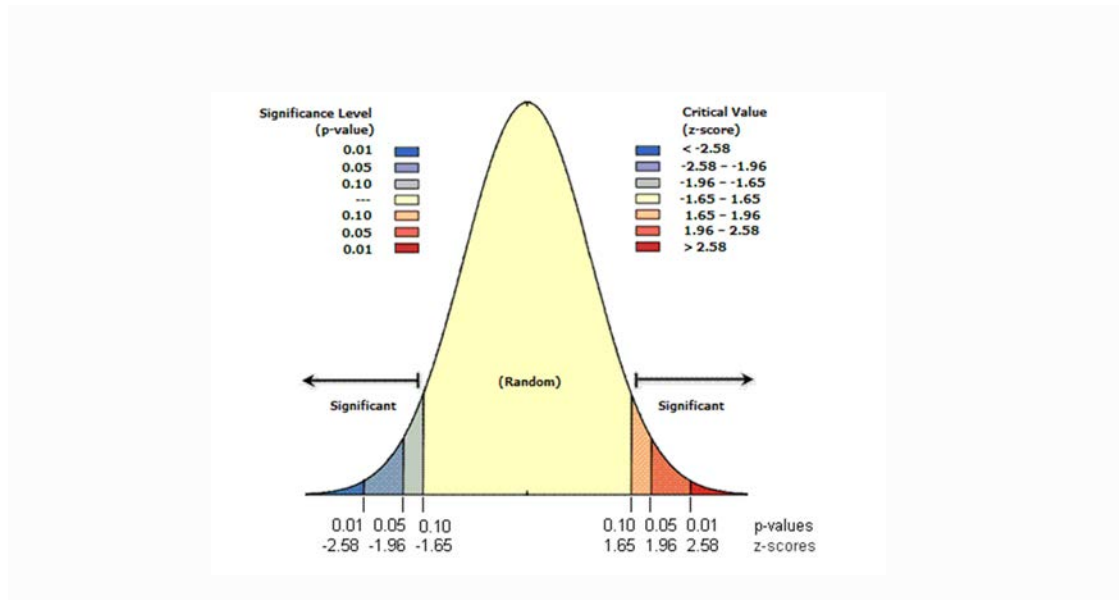


Figura 2. Distribución normal,  $I$  de Moran Global. Fuente: ArcGIS.

Para rechazar la hipótesis nula tendremos en cuenta los valores  $p$  y las puntuaciones  $z$  críticas que se muestran en la siguiente tabla:

Puntuación $z$ (Desviación)	Valor $p$ (probabilidad)	Nivel de confianza
$< -1,65$ o $> +1,65$	$< 0,10$	90 %
$< -1,96$ o $> +1,96$	$< 0,05$	95 %
$< -2,58$ o $> +2,58$	$< 0,01$	99 %

Fuente: ArcGIS. Elaboración propia

Un nivel de confianza del 99 por ciento sería el que mejor garantiza la posibilidad de rechazar la hipótesis nula, pues indica que hay menos de 1 por ciento de probabilidad de que el patrón creado sea resultado de la casualidad.

En síntesis, el Índice de Moran Global analiza el patrón de distribución de los valores de la entidad analizada, no de la entidad en sí misma. Utilizando nuestros indicadores EDUSI, este análisis nos va a permitir conocer cómo se distribuyen los valores en nuestra zona de estudio (área urbana de Mérida). Se obtendrá, por lo tanto, si el patrón de distribución que presentan las diferentes variables EDUSI es agrupado (clustered), aleatorio (random) o disperso (dispersed) midiendo la autocorrelación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades simultáneamente.



## I Anselin Local de Moran

Como se ha indicado en párrafos anteriores la I de Moran Global representa la intensidad de autocorrelación entre grupos de unidades territoriales y si existe o no autocorrelación espacial pero para establecer los resultados en el territorio es necesario establecer el grado de correlación entre las unidades con el estadístico I de Moran Local.

Este indicador calcula un valor I de Moran Local que consistirá en probar la autocorrelación espacial capaz de precisar si los sectores con proporciones altas de un grupo se localizan cerca de otros sectores con proporciones elevadas de ese grupo (Moran, 1950). En este caso, se usa tanto para medir si hay un grado estadísticamente significativo de agrupamiento de los diferentes indicadores EDUSI en la ciudad de Mérida y a qué nivel.

Se calcula con la siguiente fórmula matemática:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X});$$

donde  $x_i$  es el atributo analizado para cada entidad  $i$ ,  $\bar{X}$  es la media que se corresponde con el atributo,  $w_{i,j}$  es el peso espacial entre las entidades  $i$  y  $j$ , y:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}}{n-1} - \bar{X}^2;$$

con  $n$  siendo el número total de entidades consideradas.

Como el resultado de I de Moran se concreta en la obtención de unas puntuaciones  $z_{li}$  (desviación estándar), éstas se obtienen:

$$z_{li} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}}$$

$$\text{Donde } E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \text{ y } V(I_i) = E[I_i^2] - E[I_i]^2.$$

Al realizar el I Anselin de Moran a nivel local se ha optado por el tipo de relación de distancia euclidiana y bajo el criterio de distancia inversa al cuadrado, de tal modo que se estima que la capacidad de relación decae de forma rápida con la distancia, y con el cálculo de distancia obtenida en cada uno de los casos. Se obtienen unos valores P en las zonas de clustered que representan la significancia estadística en un código que nos indica: zonas con presencia alta de miembros de un grupo rodeadas de zonas con presencia también alta (situación High-High), o bien zonas con presencia alta rodeadas de unidades con presencia baja (situación High-Low). Asimismo, también se permite la detección de zonas con presencia baja rodeadas de unidades también con presencia baja (situación Low-Low), o bien zonas de presencia baja rodeadas de unidades con presencia alta de la variable analizada (situación Low-High) (Nieto y Márquez, 2018). Por último, también se pueden detectar zonas sin asociación espacial significativa (Anselin, 1995). Sin duda, obtener un número que pueda cuantificar el patrón espacial clúster y dónde se pueden producir agrupaciones en los indicadores EDUSI es prioritario en este estudio.

## Punto Caliente (GI\* de Getis-Ord)

En segundo lugar, se realizó el análisis de Getis-Ord para completar el indicador previo. Éste nos revela si las funciones con valores altos o valores bajos tienden a concentrarse en un área de estudio con también valores altos (puntos calientes) o bajos (puntos fríos) parecidos y en la mayoría de los casos, relacionados con

el promedio de la muestra (Nieto y Cárdenas, 2018). Evalúa cada entidad dentro del contexto de entidades vecinas y comparan la situación local con la situación global (promedio de cada Indicador EDUSI).

La formulación matemática es:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X}\sum_{j=1}^n w_{ij}}{S\sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}}$$

donde  $x_j$  representa el valor de cada entidad  $j$ ,  $w_{ij}$  es el peso espacial que corresponde a las entidades  $i$  y  $j$ , así como  $n$  es igual al número total de geometrías donde

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{[\sum_{j=1}^n x_j^2]}{n} - (\bar{X}^2)}$$

El resultado que se obtiene es una puntuación  $Z$ , para las puntuaciones positivas estadísticamente significativas, y cuanto mayor sea, consecuentemente, más intensa la agrupación de valores altos. Las Puntuaciones  $Z$  son medidas de desviación estándar, por ejemplo, si una herramienta devuelve una puntuación  $Z$  de 2.5 se interpreta como "2.5 desviaciones estándar de la media" (Getis and Ord, 1992). En efecto, para ser considerado como un punto caliente estadísticamente significativo, una entidad debe de cumplir dos condiciones: tener un valor alto y estar rodeada por otras entidades con valores altos parecidos y la localización espacial de entidades con estas características refleja dónde se producen los aglomerados y el grado de confianza estadística (Nieto y Márquez, 2018).

## RESULTADOS

Una vez detalladas las funciones estadísticas que se han empleado en este estudio se exponen en primer lugar los datos obtenidos con la técnica de autocorrelación espacial  $I$  de Moran Global para depurar los indicadores de desarrollo urbano sostenible e integrado (EDUSI) que presentasen un patrón espacial de características "*clustered*" (agrupado) y, posteriormente los que cumplieran este requisito establecer los indicadores estadísticos a nivel espacial ( $I$  Local de Moran y Getis Ord). Los resultados al aplicar la autocorrelación espacial  $I$  de Moran Global pueden verse en la siguiente tabla.

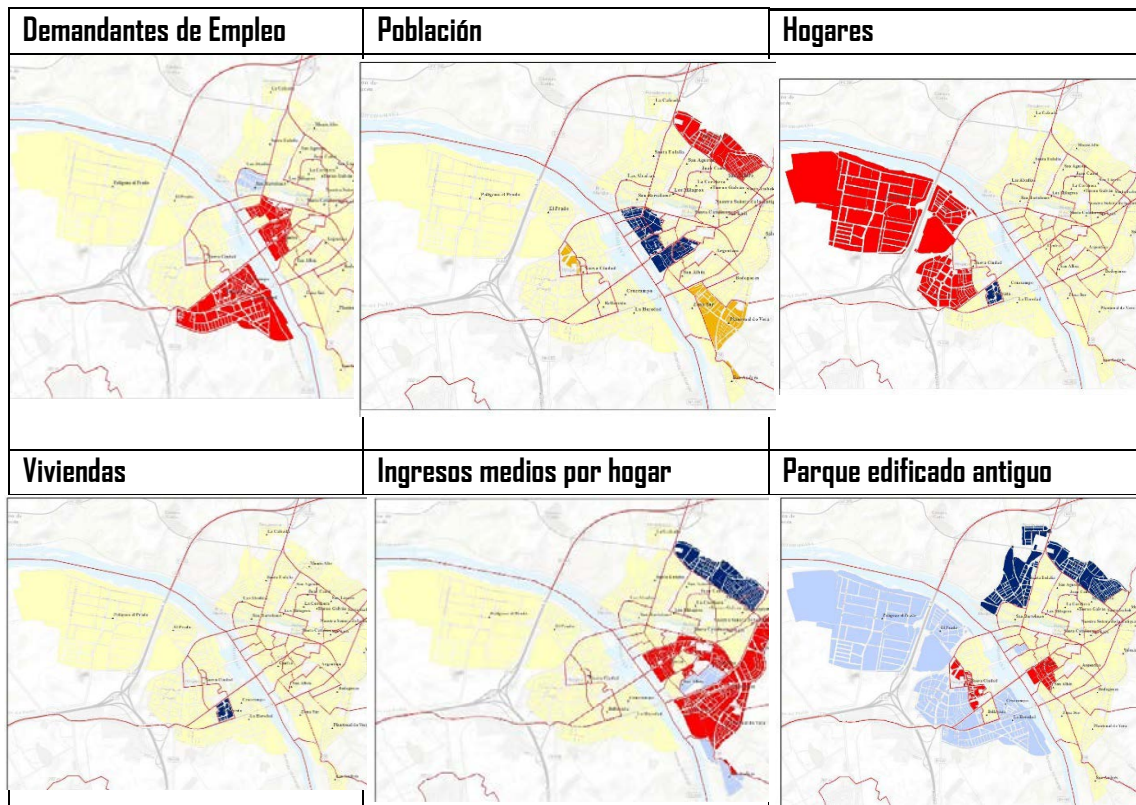
**Tabla 2.** Resultados de aplicar la autocorrelación espacial (I de Moran Global) a las variables EDUSI. Fuente: Elaboración Propia

VARIABLES EDUSI	Moran's Index	z-score	p-value	Patrón Espacial
EDUSI_1: Tasa de dependencia	0,002189	0,682028	0,495221	Random
EDUSI_2: Tasa de vejez	0,023102	1,307169	0,191155	Random
EDUSI_3: Envejecimiento	-0,022674	0,048692	0,961165	Random
EDUSI_4: Tasa de juventud	-0,017886	0,176895	0,859591	Random
EDUSI_5: Desempleo	0,084344	3,962310	0,003053	Clustered
EDUSI_6: Variación de la población	0,009649	1,014302	0,310439	Random
EDUSI_7: Población total	0,101850	4,451252	0,000558	Clustered
EDUSI_8: Total de hogares	0,074574	3,805032	0,002031	Clustered
EDUSI_9: Hogares < 2 personas	-0,039669	-0,422096	0,672955	Random
EDUSI_10: Hogares > 2 personas	-0,034300	-0,270432	0,786828	Random
EDUSI_11: Total de viviendas	0,070731	3,106390	0,002223	Clustered
EDUSI_12: Ingresos medios por hogar	0,171036	5,356064	0,000000	Clustered
EDUSI_13: Inmigración*	0,040372	1,779714	0,075123	Clustered*
EDUSI_14: Oficinas	-0,035057	-0,322755	0,746881	Random
EDUSI_15: Servicios Públicos	0,029827	1,592734	0,111220	Random
ESUSI_16: Residencial Antiguo	0,150485	5,234434	0,000002	Clustered

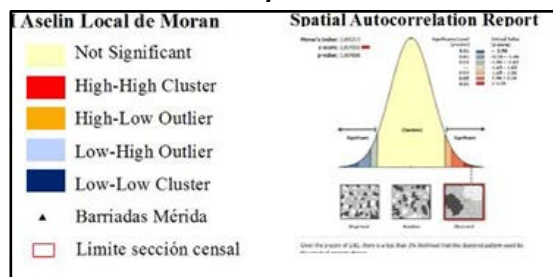
A tenor de los resultados anteriores, el patrón espacial aleatorio (random) fue atribuido para 9 de los 16 indicadores propuestos en esta investigación (corresponden al 56,25 %), siendo los siguientes; tasa de dependencia, vejez, índice de envejecimiento, juventud, variación poblacional, tamaño de los hogares (formados por menos de dos personas y más de dos), ubicación de las oficinas y servicios públicos. Esto implica que no existe una fuerte interacción entre secciones censales en estos indicadores, evitándose así el agrupamiento espacial y por lo tanto, puede deducirse que no existe una situación de desequilibrio urbano en las variables observadas.

Por otra parte, se identificaron patrones espaciales de agrupación (clustered) en 7 de los 16 indicadores iniciales (concentran el 43,75 % de la muestra), correspondientes a las siguientes variables: EDUSI\_5: Desempleo; EDUSI\_7: Población total; EDUSI\_8: Total de hogares; EDUSI\_11: Total de viviendas; EDUSI\_12: Ingresos medios por hogar; EDUSI\_16: Residencial antiguo.

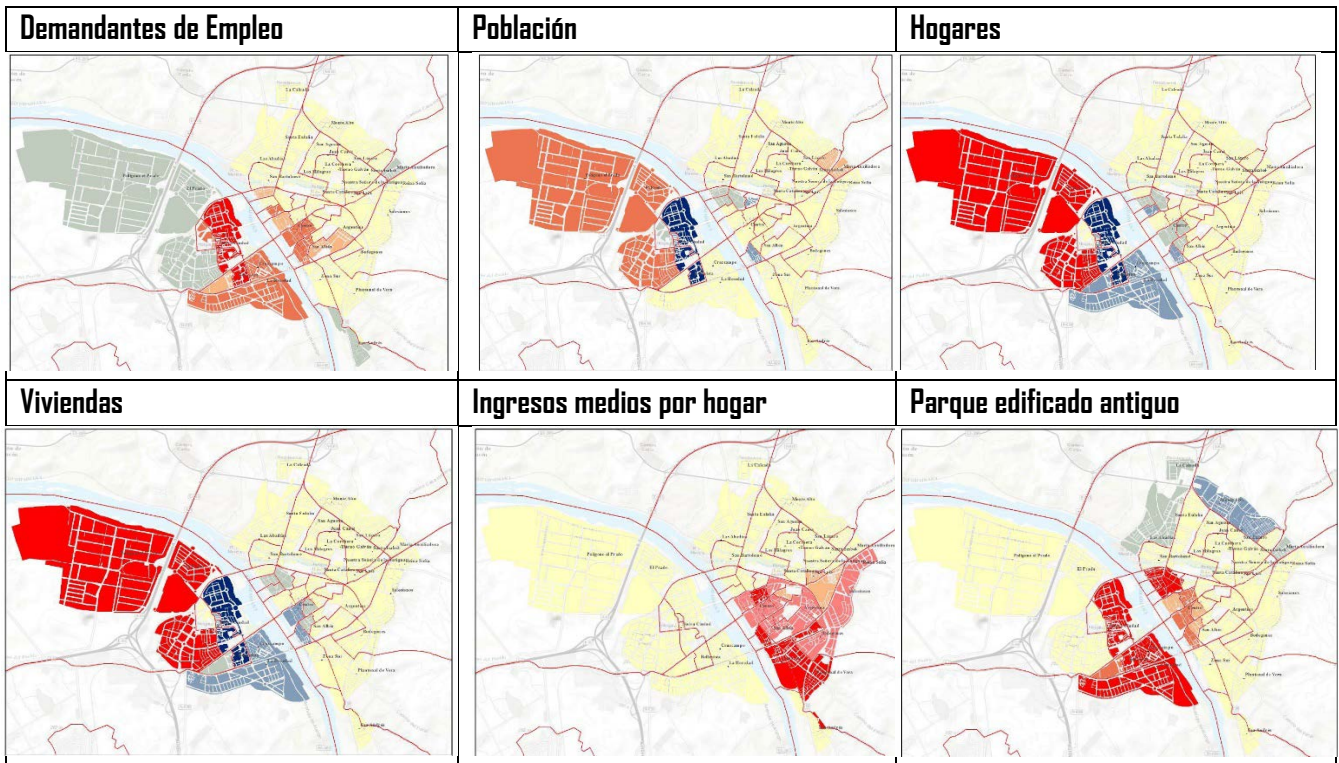
Por consiguiente, tras el proceso de depurado de patrones espaciales, se llevó a cabo el análisis de cluster y de valor atípico (I Anselin local de Moran) así como el análisis de puntos caliente  $G_i^*$  de Getis-Ord en aquellas variables EDUSI que presentaban un patrón espacial agrupado significativo (Figuras 3 y 4).



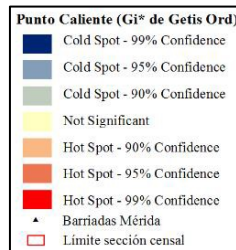
**Leyenda:**



**Figura 3.** Representación cartográfica | Aselin Local de Moran. Fuente: Elaboración Propia.



**Leyenda:**



**Figura 4.** Representación cartográfica Gi\* de Getis Ord. Fuente: Elaboración Propia.

En la variable de desempleo se han localizado concentraciones espaciales con I de Moran y Getis Ord con valores altos en el SE (barriadas de Bellavista y Cruzcampo) y en menor medida en el Centro (El Calvario) y también en el SE en Nueva Ciudad. No presentan registros concluyentes en concentraciones de valores bajos debido a que los datos de desempleo global en la ciudad son valores altos (superiores al 30%), fiel reflejo de la crisis económica de la última década.

Con la población se localizan mejores resultados con el indicador Getis Ord con agrupaciones de zonas con presencia baja de población en el SE de la ciudad (Bellavista, Cruzcampo y Nueva Ciudad): barrios de viviendas de baja densidad y calidad, delincuencia juvenil y bajos niveles educativos y de renta. En cuanto a concentración de valores altos se sitúan con HH en el indicador de I de Moran en NE de la ciudad, en la urbanización de Monte Alto: áreas de reciente construcción y con una rápida conexión a las vías de comunicación (autovías A-5 y Ruta de la Plata).

La variable del Tamaño de los Hogares se obtienen los mismos resultados significativos en los dos indicadores con valores altos en el NE de la ciudad (las barriadas del Prado y la zona residencial próxima al Hotel de Mérida), son áreas próximas a las vías de comunicación y donde existe localización de centros de trabajo de la administración autonómica y recursos educativos y sanitarios. En los valores bajos son las áreas del SE de la

ciudad donde en el anterior indicador se localizaban las concentraciones de menor población y por ello, el tamaño de los hogares es más reducido (sobre todo viviendas unipersonales o con dos miembros, zonas estigmatizadas por sus menores recursos económicos,...). Es complementaria esta variable con la del número de viviendas, cuya diferencia es que se denominan hogares cuando están habitadas. En esta variable se obtienen los mismos resultados significativos del Indicador Getis Ord de Hogares, con altas concentraciones en el NE de la ciudad y bajas concentraciones en el SE de la ciudad. No existen grandes diferencias porque la concentración de viviendas vacías en estos barrios no es significativa y no modifican los valores obtenidos.

Con los ingresos medios por hogar se localizan las agrupaciones de valores altos en los dos indicadores en los distritos del centro urbano próximos a las zonas más turísticas de Mérida, así como las barriadas del SO de la ciudad: Zona Sur, Bodegonos y Salesianos. Son áreas donde se localizan viviendas de reciente construcción, con elevado tejido comercial, conectadas con los principales monumentos históricos, próximas al área de influencia comercial del centro, población joven y dinámica, elevado número de equipamientos deportivos (polideportivo DIOCLEES), educativos (Centro Universitario de Mérida, institutos y colegios) y sanitarios (Centro de Salud Mérida Urbano III Obispo Paulo), fuerte presencia del sector de la hostelería (Hotel Velada, restaurantes, cafeterías, etc.), elevado nivel educativo, así como una fuerte tasa de actividad económica. En el lado opuesto con concentraciones con valores bajos se sitúan dos barriadas periféricas del norte de la ciudad (María Auxiliadora y Santa Isabel) donde presentan cierto nivel de delincuencia, tendencia demográfica precaria (envejecimiento y pérdida de población), bajo nivel educativo, degradación medioambiental, así como fuerte índice de desempleo.

Por último, la variable Parque edificado antiguo se localizan concentraciones de edificaciones de mayor antigüedad en cuatro secciones localizadas en la margen izquierda de ciudad que coinciden con grandes áreas de la barriada Nueva Ciudad y por otro, en tres secciones censales de la zona centro. Las particularidades de estas dos zonas son diferentes, la zona Centro tienen una agrupación espacial que se justifica por la antigüedad histórica de la ciudad, se comienza a construir edificios del centro a la periferia. Esta franja, a pesar de contar con un volumen importante de viviendas de antigua construcción acumula una serie de fortalezas sociodemográficas; zonas de atracción turística, ingresos superiores a la media de la ciudad, elevada tasa de actividad comercial, población joven y escasa degradación ambiental (parques y jardines). En cambio, la zona de Nueva Ciudad además de contar con un parque residencial con valores de antigüedad elevados, cuenta con unos niveles de renta bajo, alta tasa de desempleo y un progresivo envejecimiento de la población. Con la relación contraria secciones censales con valores bajos, rodeadas por áreas vecinas con valores similares se corresponden con la zona NO de la ciudad: Monte Alto, La Calzada y las Abadías, áreas de reciente construcción, con características sociodemográficas positivas, elevado número de población joven, elevada tasa de actividad comercial, bajo índice de envejecimiento, proximidad a grandes nudos de comunicación (autovías A-5 y A-6), etc. Con este indicador puede afirmarse que prácticamente toda la zona central de la ciudad cuenta con un parque edificado antiguo. No obstante, aclarar que los datos catastrales utilizados para este tipo de análisis excluyen los edificios históricos, monumentales o artísticos.

En todos los mapas de los dos indicadores con la I de Moran se localizan los valores más extremos, tanto en datos altos como en bajos, y con Getis-Ord agrupaciones de valores altos o bajos similares que mayoritariamente están relacionados con el promedio de ese Indicador EDUSI.

## DISCUSIÓN

El estudio de variables sociodemográficas a escala de detalle (sección censal), ha permitido calcular y analizar índices específicos como el de juventud, vejez o envejecimiento para estimar la dinámica demográfica futura y poder después utilizarlos para analizar su distribución espacial. De otra parte, las variables económicas y urbanísticas utilizadas como el porcentaje de ingresos medios por hogar o el porcentaje de edificios residenciales con una construcción superior a los treinta años, han permitido definir las zonas con mayor dinamismo económico y las áreas con elevada antigüedad del parque edificado.

A tenor de los resultados de la investigación, la tendencia marcada por los diferentes análisis de localización espacial refleja la siguiente casuística en relación al comportamiento o perfil demográfico, económico y urbanístico de la ciudad de Mérida.

Por un lado, se ha constatado que no existen zonas de agrupamiento (clustered) con valores altos o bajos en los siguientes indicadores: dependencia, vejez, juventud, variación poblacional, inmigración o localización de servicios públicos y oficinas. Dicho de otro modo, existe una aleatoriedad espacial completa (CSR) y por tanto la distribución espacial de estos indicadores es el resultado de procesos espaciales aleatorios (random), tal y como hemos podido constatar tras aplicar la autocorrelación espacial de la I Global de Moran (tabla I). Por consiguiente, estos indicadores hacen sopesar que no existe ninguna estructura entre las secciones censales, siendo polígonos independientes entre sí.

Este análisis ha permitido descartar la agrupación de valores altos de índices como el de vejez o dependencia, es decir, el tramado urbano de Mérida no presenta áreas de vulnerabilidad social relacionada con los procesos de envejecimiento. El estudio de correlación espacial sobre los servicios públicos (sanitarios, educativos, culturales, etc.) evidencian la aleatoriedad de los mismos, así pues, no se aprecia según estos análisis, áreas de agrupamiento de este tipo de servicios y por consiguiente no existen zonas urbanas descompensadas en esta materia.

Sin embargo, se han podido identificar una correlación espacial significativa de zonas con agrupación de valores en relación a las variables desempleo, población, viviendas, hogares y antigüedad del parque residencial edificado en el SE de la ciudad (barriadas de Bellavista y Nueva Ciudad) y en la zona Centro.

Los análisis estadísticos corroboran zonas con agrupación de valores altos de desempleo en las barriadas de Bellavista, Nueva Ciudad y zona Centro, la media de desempleo de la ciudad con un 43 % es ampliamente superada en estas barriadas donde aproximadamente el 60 % de su población se encuentra en situación de desempleo. Estas barriadas también presentan unos valores elevados en relación al porcentaje de edificios con una antigüedad de construcción anterior a 1980. El 36 % de los edificios residenciales de la ciudad cuentan con una edad de construcción superior a los 40 años, en estas zonas los porcentajes alcanzan cifras próximas al 52 %. Paralelamente, estas áreas presentan una agrupación de valores bajos de población, viviendas y hogares. La media de población por secciones censales es de 1.800 personas, en las barriadas en cuestión rondan entre las 600 y 900 personas. En relación al total de viviendas, la media de la ciudad está en 690 mientras que en las tres barriadas identificadas apenas llegan a las 400. Situación similar ocurre con los hogares.

Se aprecia por lo tanto una tendencia urbana negativa que se caracteriza por áreas con elevada tasa de desempleo y porcentaje elevado de edificaciones residenciales obsoletas, además, la decadencia demográfica marcada por un menor número de población y de hogares hace sopesar que se tienden a un debilitamiento y degradación en la estructura funcional urbana en estas barriadas. Estas zonas serán consideradas como prioritarias para la implantación de propuestas enfocadas a buscar una planificación urbana sostenible que contribuya a una mejora calidad de vida de los ciudadanos ((Figura 5).

Con todo lo anterior, las posibles propuestas a tener en cuenta en el desarrollo de la Estrategia de Desarrollo Urbano y Sostenible de la ciudad de Mérida deben centrarse en tres campos temáticos:

a) Fomentar propuestas atractivas de implantación o reconversión de actividades económicas ligadas a mejorar la empleabilidad laboral de la zona con sostenibilidad urbana negativa.

b) Propuestas de intervención en la urbanización, tanto en el sistema de infraestructuras básicas de servicio como en la mejora de los espacios públicos del ámbito considerado prioritario (sostenibilidad urbana negativa).

c) Estudios de rehabilitación y ayudas a la renovación integral de edificios residenciales. Entre otros aspectos, estudiar la situación del parque edificatorio, analizando con especial atención el parque de vivienda y el estado de los edificios públicos, determinando la potencialidad de las líneas de actuación de rehabilitación.

Indicar que la mayor parte de estos problemas se sitúan dentro de los objetivos temáticos financiados por los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos y en línea con las prioridades de inversión específicas para zonas urbanas, entre ellos, la promoción de las estrategias de bajas emisiones de carbono para zonas urbanas, la mejora del entorno urbano (incluida la regeneración de las zonas industriales abandonadas y la reducción de la contaminación del aire), el fomento de la movilidad urbana sostenible y el impulso de la inclusión social.

Por último, señalar que se ha podido identificar una correlación espacial significativa de zonas con agrupación de valores altos en relación al indicador ingresos, especialmente en las secciones censales localizadas al SO de la ciudad que corresponden a su vez con las barriadas Bodegonas, Plantonal de Vera, Salesianos y Reina Sofía. La media de los ingresos de la ciudad es de 26.000 € y estas zonas urbanas se caracterizan por valores que superan los 30.000 € hasta llegar al máximo de 32.200 €. Sus características nos explican esta situación, son viviendas de reciente construcción, con elevado tejido comercial, conectadas con los principales monumentos históricos, próximas al área de influencia comercial del centro, población joven y dinámica, elevado número de equipamientos deportivos, educativos (es donde también se localiza la Universidad) y sanitarios. Además, hay una fuerte presencia del sector de la hostelería con la localización de los establecimientos de las grandes multinacionales, elevado nivel educativo, así como una fuerte tasa de actividad económica. Es a su vez la única zona considerada con una sostenibilidad urbana positiva.

A modo de conclusión, se podría señalar que existe una cierta sostenibilidad desde el punto de vista social (no hay agrupación de zonas con altas tasas de envejecimiento o dependencia) sin embargo hay un desequilibrio desde el punto de vista económico y urbanístico entre diferentes secciones censales; hay barriadas con una fuerte agrupación de valores altos de desempleo y de edificios residenciales de construcción antigua, frente a otras zonas con valores de ingresos muy por encima de la media. Esto conlleva a un claro problema de fragmentación urbanística que favorece una desconexión entre unas barriadas y otras, no habiendo por tanto una identidad común de ciudad.



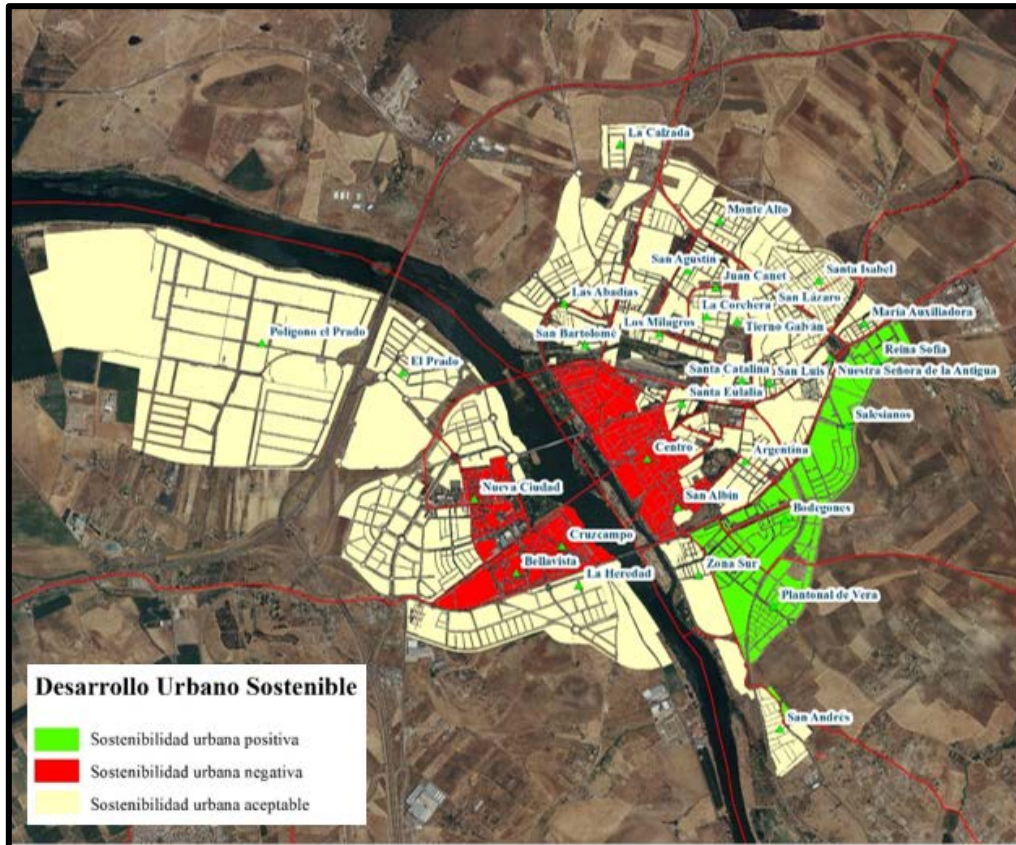


Figura 5. Plano urbano de Mérida, valoración del Desarrollo Urbano Sostenible, barriadas y secciones censales.  
Fuente: Elaboración Propia.

## CONCLUSIONES

Los análisis geostatísticos utilizados en esta investigación han sido desarrollados con herramientas implementadas en un Sistema de Información Geográfica, exponiendo la información obtenida tanto de forma cartográfica (figuras) como estadística (tablas). Los SIG demuestran ser de gran utilidad en el ámbito del planeamiento urbano y territorial, debido a su capacidad para combinar la información a través de datos estadísticos y bases cartográficas que permiten describir espacialmente las variables analizadas y los fenómenos que caracterizan el contexto local, las secciones censales, barridas o zonas sobre los que con toda la información obtenida, se podrán tomar las decisiones más oportunas a la hora de poner en marcha una Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible.

Así mismo, la capacidad de la tecnología SIG de relacionar con facilidad datos geográficos y estadísticos ha permitido seleccionar con mayor precisión los datos estadísticos de partida, más significativos para describir la ciudad sobre su contexto espacial en función de las características socioeconómicas de su población y de su tramado edificado.

Una vez que se han explicado los objetivos, principios y el interés que tiene desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones local, se ha pretendido crear un sistema objetivo, con fuentes de datos verificables, públicos y homogéneos capaz de conocer en profundidad las principales debilidades urbanas, con el fin de proponer líneas estratégicas que sirvan de soporte tanto para el desarrollo su Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado, como para fundamentar su seguimiento y evaluación.

La metodología adoptada basada en la estadística aplicada a la geografía ha constituido un conjunto de herramientas imprescindibles para el estudio del comportamiento urbano de la ciudad. Utilizando la sección censal como unidad básica del estudio ha ofrecido claras ventajas de desagregación del territorio, permitiendo un análisis más exhaustivo de la realidad que no se puede obtener con otro tipo de datos. Un elemento más a destacar ha sido la utilización de los indicadores de autocorrelación local como herramienta para analizar no sólo la situación de una sección censal o zona urbana concreta, sino comparar esta situación con la de su entorno. Este factor tiene fuertes implicaciones en el análisis urbano, donde es evidente que existe una fuerte conexión entre áreas vecinas.

En relación a la caracterización de las zonas clusters detectadas se ha optado por un doble proceso, en primer lugar analizar la significación estadística de las variables en estas zonas y las zonas que no han sido detectadas como clusters. En segundo lugar, se ha querido extraer aquellas variables que mejor explican la pertenencia de una zona a una agrupación o cluster. Los resultados obtenidos en este doble proceso han permitido observar que determinadas características como el desempleo, los ingresos medios (zonas económicas más dinámicas) o la antigüedad del parque edificado reflejan una fuerte concentración espacial.

Es necesario incidir que, además, gracias a las herramientas SIG se puede llegar a establecer una geografía orientativa de las áreas más vulnerables de la ciudad de Mérida (mayor desempleo, antigüedad edificatoria, etc.) que ha permitido de una forma más efectiva la clasificación de las distintas áreas, así como la búsqueda de los espacios de oportunidad. Por último, se ha realizado una serie de aportaciones a modo de propuestas para intervenir dentro de estas zonas prioritarias o vulnerables, el tipo de políticas y sobre todo qué estrategias adoptar para cumplir con un Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado.

Este trabajo de investigación centrado en el análisis del desarrollo urbano de Mérida ha supuesto un paso hacia el concepto *smart cities*, pues hace referencia a un modelo de ciudad donde se optimizan los recursos, mejorando la calidad de vida del ciudadano gracias a la innovación tecnológica. En este ámbito, las tecnologías SIG aplicadas en el presente artículo juegan un papel esencial.

A través de la Estrategia Europa 2020, Europa apuesta por un desarrollo económico apoyado en el principio de "crecimiento inteligente", así como en una economía del conocimiento y la innovación sostenibles. Para ello, se persigue un uso más eficiente de los recursos e "integrador", que contribuya a la cohesión social y territorial. En el terreno que nos ocupa, los datos analizados y recogidos van a posibilitar la puesta en marcha de distintos proyectos y el desarrollo de aplicaciones que contribuyan a la puesta en marcha de la Smart City Mérida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselin, L. (1995): «Local Indicators of Spatial Association-LISA». *Geographical Analysis*, vol. 27. N. 2.
- Bosque Sendra, J. (1992): *Sistemas de información geográfica*. Ed. Rialp. Madrid.
- Bustillo, E. y Rodríguez, P. (2015). "Los Sistemas de Información Geográfica y las ciudades inteligentes". *Polígonos, Revista de Geografía*, Nº 27, Universidad de León.
- Comisión Europea (1999): *Estrategia Territorial Europea: Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la Unión Europea*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Comisión Europea (2003): *Cooperación con las ciudades. La iniciativa comunitaria URBAN*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Davoudi, S.; Evans, N.; Governa, F.; Santangelo, M. (2008): "Territorial governance in the making. Approaches, methodologies, practice". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Nº 46, 33-52.

- De Gregorio Hurtado, S. y Kocewicz, R. (2007): "Iniciativa Comunitaria URBAN 1994-1999. Análisis comparativo de tres casos españoles de programas europeos de rehabilitación urbana". *Cuadernos de Investigación Urbanística*, Nº 55, Madrid.
- Drewe, P. (2008): "The URBAN Initiative or the EU as social innovator?". En Drewe, P.; Klein, J.L.; Hulsbergen, E. (eds.): *The challenge of social innovation in urban revitalization*. Techne Press, Ámsterdam.
- Dukes, T. (2008): *Negotiating Constructions of Place and Scale in European Urban Policy Discourse: The Case of the Netherlands*. Tesis doctoral, University of Amsterdam.
- Fernández Lafuente, F. (1994): "Una política para las ciudades. Desarrollo del Plan Director de Infraestructuras en Medio Urbano". *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, nº 99, pp. 19-30.
- Getis, A. y Ord, J.K. (1992): «The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics». *Geographical Analysis*, Vol. 24, Nº. 3, 189-206.
- Goñi, B. (2008): "Identificación, localización y caracterización de las secciones censales desfavorecidas de la Región Metropolitana de Barcelona". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales*. Barcelona, Vol. XII, Nº 272.
- Gutiérrez Palomero, A. (2009b): *La Unió Europea i la regeneració de barris amb dificultats. L'acció de la Iniciativa Comunitària URBAN i la construcció d'una política urbana comunitària*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida. [http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0208110-180516/index\\_cs.html](http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0208110-180516/index_cs.html)
- Habitat (1996): "Un ejemplo de participación y renovación urbana: la remodelación de barrios en Madrid (España)", en *Experiencias seleccionadas en el Concurso de Buenas Prácticas patrocinado por Dubai en 1996*. Habitat.
- Hableton, R. y Gross J. S. (2007). *Governing cities in a global era. Urban innovation, competition and Democratic Reform*. Palgrave Macmillan. Nueva York
- Lahosa, J. (2002): "Delincuencia y Ciudad. Hacia una reflexión geográfica comprometida". *Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Vol. VII, Nº349.
- López Hernández, F.A. y Palacios Sánchez, M.A. (2000): "Distintos modelos de dependencia espacial. Análisis de autocorrelación". En VV.AA. *Comunicaciones XIV Reunión ASEPELT*, Oviedo, Universidad de Oviedo, 16 p.
- Mateos Rodríguez, P. (2012): "Geovisualización de desigualdades sociodemográficas: nuevas tendencias en la web social", En De Cos, O. y Reques, P. *La población en clave territorial. Procesos, estructuras y perspectivas de análisis*. Actas del XIII Congreso de la Población Española. Santander, Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de Cantabria, Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Cantabria, pp. 507-515.
- Mateos Rodríguez, P. (2013): "Geovisualización de la población: nuevas tendencias en la web social". *Investigaciones Geográficas*, Nº 60, pp. 87-100.
- Moran, P. A. P. (1950). "Notes on Continuous Stochastic Phenomena". *Biometrika*. 37 (1): 17-23.
- Nieto Masot, A. y García Paredes, C. (2014). "Análisis del envejecimiento demográfico en Extremadura a escala de detalle: distritos y secciones censales", en López Gay, A.; Rojo, F.; Solsona, M.; Andújar, A.; Cruz, J.; Iglesias, R.; Feria, J.M. y Vahí, A. (Eds): *XIV Congreso Nacional de Población. Cambio demográfico y socio territorial en un contexto de crisis*. Sevilla: Grupo de Población de la AGE.
- Nieto Masot, A. y Cárdenas Alonso, G. (2015). "El Método LEADER como política de desarrollo rural en Extremadura en los últimos 20 años (1991-2013)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Nº 69, 139-162.

- Nieto Masot, A. y Cárdenas Alonso, G. (2018): "The Rural Development Policy in Extremadura (SW Spain): Spatial Location Analysis of LEADER Projects", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7 (2)
- Nieto Masot, A. y Márquez Segovia, N. (2018). "Análisis de la distribución de equipamientos educativos (0-16 años) en Extremadura a escala de detalle". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, Nº 77, 493-590.
- Parkinson, M. (2005): *Urban policy in Europe: where have we been and where are we going*. NODE Project on European Metropolitan Governance. Austrian Federal Ministry of Education, Science & Culture.
- Reiter, R. (2008): "The "European City" in the European Union. Comparing the implementation conditions for the EUs urban development agenda in Germany and France", en Atkinson, R. y Rossignolo, C (ed.), *The Re-creation of the European City. Governance, Territory & Policentricity*. Techne Press, Amsterdam.
- Tobler, W. R. 1970. "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region". *Economic Geography* Nº 46,230-40.
- Tofarides, M. (2006): "Government and governance in the European Union: Local experiences of European Urban Policy". En Doria, L.; Fedeli, V.; Tedesco, C. (eds.): *Rethinking European Spatial Policy as a hologram. Actions, institutions, discourses*. Ashgate, Aldershot.
- Urban Future (2005): *Creative Urban Futures, Urbanism*. Down Under 2005 Conference, Wellington

# MODELOS ESPACIALES PREDICTIVOS DEL RIESGO DE SECA EN EXTREMADURA. APLICACIONES A ESCALA REGIONAL Y LOCAL EN ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

Álvaro Tejeda y J. Francisco Lavado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Geoambiental (GIGA). Fac. de Filosofía y Letras, Avda. Universidad s/n, 10071 Cáceres, España. frlavado@unex.es

## RESUMEN

En el presente trabajo, se ha realizado un estudio acerca del principal problema fitosanitario que está afectando a las dehesas extremeñas en la actualidad, la seca de especies del género *Quercus*, que merma las poblaciones de árboles y pone en peligro la supervivencia de este tipo de sistemas. Entre la amplia gama de factores que pueden desencadenar la seca, uno de las principales es la afección por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* Rands. En este trabajo se desarrollan modelos de susceptibilidad a la seca mediante el uso del algoritmo de máxima entropía (MAXENT), generalmente utilizado en la modelización de nichos ecológicos y distribución de especies. Para el desarrollo del estudio, se han usado como predictores de la seca una serie de variables ambientales, algunas de ellas relacionadas con los procesos de propagación o de supervivencia del patógeno. Se ha atendido a dos escalas espaciales para la selección de las variables predictoras y la generación de los modelos: una escala regional (Comunidad Autónoma de Extremadura) y otra local, seleccionando para esta última una serie de rodales de *Quercus* afectados de seca en espacios naturales protegidos de la región. Los resultados arrojados por los modelos realizados nos muestran el nivel de riesgo potencial alto en el que se encuentra la comunidad autónoma de Extremadura. El modelo realizado a escala regional muestra un total de 1.179.639 hectáreas propensas a verse afectadas por dicha afección, dentro de las cuales, 383.339 hectáreas mostrarían un nivel de riesgo potencial alto.

Palabras Clave: Seca, *Phytophthora cinnamomi* Rands, Modelos de distribución de especies, MAXENT, *Quercus*

## ABSTRACT

In this work, a study has been carried out about the main phytosanitary problem that Extremenian dehesas are currently facing, consisting on the death *Quercus* trees named as the "seca", thus reducing tree populations and endangering the sustainability of this valuable systems. One of the main factors of the seca disease is the affection by the oomycete *Phytophthora cinnamomi* Rands. In this work, seca susceptibility models are developed through the use of the maximum the entropy algorithm (MAXENT), generally used to model ecological niches and spatial distribution of species. For the development of this study, a series of environmental variables have been considered as predictors of seca, some of them related to the processes of propagation or survival of the pathogen. Two spatial scales have been addressed for the selection of the predictor variables and the generation of the models: the regional scale (Autonomous Community of Extremadura) and a local one, selecting for the latter a series of *Quercus* stands affected by this disease in protected natural spaces of the region. The results obtained by the models carried out show high potential risk computed for most of the region. The regional model shows a

total of 1,179,639 hectares as prone to seca, among which, 383,339 hectares would show a high level of potential risk.

Key Words: Seca, *Phytophthora cinnamomi* Rands, species distribution modeling, MAXENT, *Quercus*.

## INTRODUCCIÓN

La dehesa es un ecosistema característico de la zona suroeste de la Península Ibérica, en la que ocupa aproximadamente unas 3,5 millones de hectáreas (Pulido y Picardo, 2010), constituyendo el sistema agrosilvopastoral más importante de Europa, entendiéndose como tal un sistema de explotación en el cual coexisten las plantas leñosas perennes con cultivos herbáceos y aprovechamiento fundamental en forma de pastoreo. La dehesa constituye un ecosistema y un sistema de producción únicos en el mundo y ofrece una gran biodiversidad, así como otros valores culturales y patrimoniales.

Este sistema productivo ha sido conformado por el hombre mediante diferentes labores, como el aclareo del arbolado o el control del estrato arbustivo, con el objetivo de aumentar la cantidad y calidad de los recursos para su explotación, debido a que la dehesa se caracteriza por estar ubicada en terrenos pobres y poco productivos. La dehesa necesita de estos manejos para su supervivencia y explotación, tratándose de un sistema agrario de baja intensidad de uso, con agricultura y ganadería a tiempo parcial, además de otros aprovechamientos de tipo forestal. De esta forma, la dehesa ha constituido el motor de la economía de estas zonas marginales desde la antigüedad, siendo, durante siglos, ejemplo de coexistencia de los intereses medioambientales, económicos y sociales, actualmente en entredicho, según algunos autores (Gómez *et al*, 2016; Hernández, 1996) por problemas de degradación.

Los árboles que dominan el estrato superior de la vegetación en la dehesa pertenecen al género *Quercus*, siendo los más característicos el alcornoque (*Quercus suber*) y, sobre todo, la encina (*Quercus rotundifolia*), pudiendo también estar integradas de otras especies como el quejigo (*Quercus faginea*) o el roble melojo (*Quercus pyrenaica*).

### La seca

Hoy en día, la situación de las dehesas está cambiando, al encontrarse en una situación de amenaza por diferentes aspectos que están provocando la degradación de buena parte de las masas de encina y alcornoque en toda la Península Ibérica. Estos problemas son de diversa índole, centrándonos en este trabajo en la enfermedad o síndrome de la seca, debido a que esta afección se ha convertido en el principal problema fitosanitario para los *Quercus*, por la agresividad de la misma y por las altas tasas de mortalidad que provoca.

La seca comenzó a observarse en las dehesas extremeñas en los años 80, siendo una afección que parece estar desencadenada por un conjunto amplio y diverso de factores, por lo que también tiende a denominarse como síndrome, por la frecuente acción conjunta de varios de estos factores. Al no ser una enfermedad claramente abordable y poder desencadenarse por diferentes motivos, existe cierta confusión a la hora de establecer una definición exacta para la misma. Una de las definiciones más aceptadas sobre la etiología del problema lo define como “un caso de decaimiento, debido a la interacción de diversos factores bióticos y/o abióticos intercambiables, cuya acción ordenada conduce al deterioro gradual del estado fisiológico de las plantas, y a menudo origina su muerte” (Manión, 1991; Sánchez-Osorio *et al*, 2005). Los factores implicados en este proceso tienen la característica de que ninguno puede reproducir los síntomas observados en el campo de

manera separada, pudiendo ser los mismos intercambiables, actuando de manera inespecífica y pudiendo ser distintos en el tiempo y en el espacio, aunque el resultado sean los mismos síntomas (Carrasco, 2009).

Se puede establecer una clasificación de dichos factores, clasificándolos según cuatro categorías:

- Factores de **predisposición**, como tratamientos silvícolas inadecuados, degradación del suelo por erosión, pérdida de productividad o contaminación, envejecimiento de los árboles, etc.
- Factores **detonadores**, que se relacionan, en general, con el clima o determinados eventos climáticos, como las sequías, heladas, irregularidad de las precipitaciones, prolongación del periodo estival, etc.
- Factores **catalizadores**, que son aquellos que aceleran o favorecen el proceso, los cuales pueden ser de carácter espacial o de ubicación de los árboles (solanas, vaguadas, suelos hidromorfos, suelos resacos) o de carácter temporal, que hacen referencia al momento fisiológico o estado fenológico de la planta (periodos de floración y brotación, cambios estacionales, final del periodo seco).
- **Factores ejecutores**, que son aquellos que, finalmente, desencadenan la muerte de la planta. Éstos pueden tener carácter biótico (bacterias, insectos, hongos...) o abióticos (sequias, incendios, aludes, polución...) (Montoya *et al.*, 2012).

Entre la gama de factores que desencadenan la enfermedad, el más importante y agresivo es la infección por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* Rands, que es uno de los patógenos de plantas leñosas más agresivos y destructivos del mundo y que actualmente constituye uno de los problemas más graves que afectan a las dehesas extremeñas, debido a que constituye uno de los principales factores contribuyentes al decaimiento de las especies del género *Quercus* (Figura 1). Este oomiceto (o falso hongo), resulta extremadamente mortal, causando generalmente la muerte de las raíces absorbentes de las plantas, comprometiendo su capacidad de absorción de agua y nutrientes y llegando a provocar, en la mayoría de los casos, la muerte de la planta (Tuset *et al.*, 2006).



**Figura 1:** Rodal de encinas afectadas de seca. Elaboración propia.

El proceso de infección necesita del agua, de forma que se produce cuando encontramos terrenos saturados o con aguas libres y a una temperatura más o menos alta, entorno a los 25°C. Gracias a la presencia de agua, las oosporas se mueven a través de esta masa de agua y son atraídas químicamente por los exudados radicales de las plantas, produciéndose la infección por la elongación de las raíces absorbentes o, en menor medida, a través de heridas, hasta provocar la muerte de las mismas. Esto explica la reducción de absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, provocando una serie de efectos en la parte aérea de la planta como la marchitez foliar, puntisecado de las ramas, defoliación, reducción del tamaño de las hojas..., hasta provocar su muerte (Caetano *et al.*, 2010).

La infección se ve favorecida por el encharcamiento de los suelos, que permiten la rápida propagación de las oosporas; sin embargo, su carácter más agresivo se observa en períodos secos, en los que las primaveras lluviosas continúan con veranos y otoños secos, sin apenas precipitaciones, y acompañados de altas temperaturas (Caetano et al, 2010). Esto provoca que los árboles, ya infectados y debilitados, no sean capaces de resistir el estrés hídrico. En la Península Ibérica, en buena parte sometida a veranos secos que se prolongan, cada vez más este patógeno está provocando mortandades de árboles muy elevadas en los otoños con déficits hídricos. Si a ello se suman los efectos del cambio climático, podemos observar que la situación puede alcanzar unos niveles de riesgo extremadamente graves en el futuro.

Los síntomas de la acción de este patógeno pueden ser notables en unas semanas, cuando la infección se torna grave y los árboles pierden la totalidad de sus raíces absorbentes, produciendo la muerte súbita del árbol cuando, tras la infección, se produce un periodo de sequía (Figura 2, izquierda). El proceso puede también ser más lento, prolongándose durante meses o años, si las condiciones ambientales del entorno son más frescas y húmedas, desencadenando la muerte paulatina de los árboles (Figura 2, derecha) (Caetano et al, 2010).



**Figura 2:** Muerte paulatina de *Quercus* (Derecha) y muerte súbita de *Quercus* (Izquierda). Fuente: <http://agroportal.pt> y <http://guadamatilla.blogspot.com>

### Relevancia territorial

Como se ha comentado, la enfermedad de la seca comenzó a aparecer en las dehesas de la Península Ibérica a comienzos de los años 80, apareciendo los primeros focos de árboles muertos y otros afectados por un proceso de decaimiento severo, en Comunidades Autónomas como la de Andalucía, Castilla La Mancha o Extremadura (Monreal *et al*, 1997). Ya en 1988, esta situación se agravó, apareciendo no sólo pies aislados, si no los primeros rodales afectados. El aislamiento de la enfermedad desde la década de 1990 en las dehesas españolas ha sido constante hasta la actualidad, pero con el paso del tiempo, se ha aumentado su presencia hasta alcanzar unos valores desorbitados, afectando a una gran parte de los terrenos de dehesa y habiéndose producido un gran aumento en el número de hectáreas afectadas por la misma (Tuset *et al*, 1997).

Un dato esclarecedor del aumento de la presencia de la enfermedad es que, en Extremadura, estudios realizados entre los años 2003 y 2004, determinaron la existencia de 440 focos en la región, siendo las áreas más afectadas las zonas de la Sierra de San Pedro, la zona de los pantanos en La Siberia y la zona de los valles del Tiétar y del Alagón, con una superficie total afectada del 0,5% en relación al total de la superficie de dehesa de Extremadura (Pérez, 2015). Sin embargo, un estudio realizado en el año 2012 por IPROCOR (Instituto de Promoción del Corcho en Extremadura), determinaba la existencia de 5017 focos de seca, repartidos, en mayor medida, en las zonas de la Sierra de San Pedro, los valles del Alagón y del Tiétar, la cuenca del Aljucén y la



margen derecha de las Vegas del Guadiana, afectando a una superficie total de 29.000 hectáreas, aumentando por diez el número de focos y en más de tres la superficie afectada (Pérez, 2015).

Si comparamos los datos con los años 90, en esa época, la superficie afectada por la enfermedad en las Comunidades Autónomas de Andalucía, Extremadura, Castilla-La Mancha, Madrid y Castilla y León era de unas 20.000 hectáreas. En la actualidad, tan solo en la Comunidad Autónoma de Extremadura, la superficie afectada por seca es de 29.000 hectáreas, según los datos del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) (Rosado, 2016). Este dato nos muestra el aumento que ha tenido esta enfermedad en el transcurso de tan sólo 30 años, habiéndose convertido en la actualidad en el mayor problema fitosanitario de la dehesa.

Si bien los números nunca son exactos, y las prospecciones parciales, estas cifras pueden proporcionar una idea de la magnitud del problema y de su evolución temporal

### **Modelización del nicho ecológico**

En este trabajo se realiza una investigación para determinar la susceptibilidad territorial a la seca a escala regional, así como la susceptibilidad espacial y la evolución temporal de la afección por seca a escala de rodal o foco en espacios naturales protegidos de Extremadura. De esta forma, se pretende aportar algo de luz sobre los espacios más propensos a verse afectados por esta enfermedad en un futuro. Para ello, se han generado modelos de distribución potencial en los que se utilizan algoritmos matemáticos que, una vez espacializados, establecen las áreas en las que convergen las condiciones más favorables para la propagación de la enfermedad.

Estos modelos son muy aplicados al análisis de la distribución potencial de especies, y tratan, en general, de caracterizar las condiciones del nicho ecológico que delimitan la supervivencia de las especies. Los modelos de nicho ecológico, por tanto, nos permiten analizar factores ecológicos asociados a las especies y en las cuales influyen en distinto grado y modo, analizando esa información por medio de diversos algoritmos que nos permiten proyectar el área potencial que ocuparía dicha especie (OSINFOR, 2013). Al evaluar y proyectar las áreas que presentan unas condiciones ambientales favorables para las especies de interés, se apoyan en datos georreferenciados de presencia y/o ausencia de las mismas y en una serie de variables ambientales que afectan a esas especies, creando de esta forma un modelo de requerimiento de la especie conforme a las variables ambientales examinadas (Anderson et al, 2003).

Estos modelos se basan en una serie de algoritmos matemáticos que analizan la información y permiten modelar con mayor precisión la distribución de los elementos dentro del área geográfica. Actualmente, existen diversos tipos de algoritmos que abordan el problema desde diferentes puntos de vista, ya sea a partir del uso de envolturas climáticas (BIODCLIM), de algoritmos genéticos (GARP) o de algoritmos de máxima entropía (Maxent), entre otros (Hollid et al, 2008). Dichos algoritmos pueden basarse en registros de presencia y ausencia de la especie en cuestión o únicamente de presencia.

### **Maxent**

El algoritmo utilizado para la generación de los modelos espaciales en el presente trabajo ha sido Maxent (Maximum Entropy Modeling) (Phillips et al, 2004), debido a que dentro del amplio abanico de algoritmos existentes para llevar a cabo modelos de distribución de especies, Maxent es uno de los que establece unas predicciones más fiables o certeras a los resultados a priori. Maxent toma como punto de partida los registros de presencia de la especie para generar el modelo, debido a que no requiere datos de ausencia de la especie, porque toma como registros los datos ambientales proporcionados por el área de estudio como datos de pseudoausencias. Se

basa en el principio de máxima entropía para encontrar la distribución más uniforme, condicionada por las restricciones de la información de la distribución de la especie y de las variables ambientales del área de estudio. Su propósito general es caracterizar distribuciones de probabilidad cuya información está incompleta, basándose en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución deducida a partir de las condiciones ambientales donde ha sido observada, evitando hacer suposiciones que no sean soportadas por los datos (Phillips *et al*, 2004).

Las principales características de este algoritmo son (Mateos, 2014; Phillips *et al*, 2006):

- Se requiere tan sólo los datos de presencia, junto con la información de carácter ambiental (concreta para cada caso) del área analizada.
- Admite tanto datos categóricos como continuos, y pueden incorporar como predictores las interacciones entre las distintas variables.
- Se han implementado eficaces algoritmos deterministas para garantizar la obtención de la óptima distribución de probabilidad (máxima entropía).
- La distribución de probabilidad generada por Maxent es muy concisa, lo que favorece enormemente el análisis de los resultados.
- Se evita el sobreajuste de los modelos empleando generalizaciones.
- Dada la estrecha y nítida dependencia de la distribución de probabilidad de Maxent y la distribución de las localizaciones de ocurrencias, es factible abordar formalmente un sesgo en el muestreo.
- Los resultados son de naturaleza continua, posibilitando un análisis de gran precisión sobre la idoneidad del modelo en las diferentes zonas del área de estudio. Para la generación de predicciones binarias hay gran flexibilidad en los métodos para la elección de valores umbral.
- Maxent también puede aplicarse a datos de especies de presencia/ausencia, implementándolo como un modelo condicional, contrapuesto al modelo incondicional genéricamente propuesto.
- Maxent funciona bastante correctamente con una disponibilidad de datos de presencia limitada.
- Los modelos de máxima entropía presentan, en la actualidad, gran dinamismo en el campo de la investigación estadística, por tanto, se convierte en una metodología susceptible erigirse en soporte para nuevas investigaciones y análisis.
- Debido a su inherente flexibilidad, es potencialmente generalizable a diversas aplicaciones al margen de las netamente ambientales.

El algoritmo proporciona un peso a cada una de las variables al multiplicarla por una constante y dividirla posteriormente para que la probabilidad se encuentre en unos valores entre 0 y 1. Maxent parte de una distribución uniforme de las probabilidades e, iterativamente, va alternando el peso de cada una de las variables para maximizar los datos de ocurrencia (Illoldi *et al*, 2008). Las predicciones realizadas por Maxent para cada celda del ráster considerado área de estudio hacen referencia a los valores acumulativos, representando, como porcentaje, el valor de probabilidad asignado a la celda en cuestión y todas aquellas con valores iguales o menores de probabilidad, siendo las celdas con valores cercanos o iguales a 100 las más apropiadas y aquellas con valores cercanos o iguales a 0 las menos apropiadas, interpretándolo como un grado relativo de adecuación (Phillips *et al*, 2004).

Tras la generación del modelo a través del algoritmo Maxent, el siguiente paso es plasmarlo sobre un área geográfica concreta, que es lo que se viene a llamar la distribución potencial. Se trata del área por donde se distribuiría la especie en concreto y que se elabora a partir de las localizaciones en las cuales se dan las

condiciones ambientales favorables para la distribución de la especie. Este área de distribución potencial será el lugar deducido por el modelo en el cual es más probable que se localice la especie en concreto (Espinosa *et al.*, 2001). En este estudio, como se ha comentado con anterioridad, aparte de generar el modelo de distribución potencial a escala regional para el territorio de la Comunidad Autónoma de Extremadura, se ha desarrollado también a escala local, mediante la elección de una serie de áreas en zonas de dehesa de la red de espacios naturales protegidos de Extremadura afectados por este problema fitosanitario.

Debido al gran impacto que está teniendo esta enfermedad en las dehesas extremeñas, es de gran utilidad la realización de un estudio de estas características que permita una aproximación espacial a la distribución de la afección y también proporcione algunas claves al respecto de la comprensión de las variables o factores explicativos del problema. Ello contribuirá a la mejora de las herramientas disponibles para la lucha contra esta enfermedad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos principales**

- Modelizar la distribución espacial potencial del riesgo de seca a escala regional y local, mediante algoritmos basados en la modelización del nicho ecológico (Maxent).

### **Objetivos específicos**

- Describir la naturaleza y características de la seca.
- Mejorar la comprensión de las condiciones que propician la aparición de la seca en función de una serie de variables utilizadas como predictoras en los modelos.
- Incluir dos escalas de aproximación espacial al problema que reflejen las diferentes condiciones del contexto espacial del riesgo de seca e incorporen información sobre el mismo en forma de variables: la escala regional y la local.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El área de estudio para el modelo a escala regional se centra en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Por otro lado, se han escogido 4 zonas pertenecientes a la Red Natura 2000 de Extremadura para realizar un modelo similar, pero a escala local, que permita observar en detalle los patrones espaciales que sigue la seca. Estas 4 zonas consisten en focos de seca extraídos de la cartografía de focos de seca en Extremadura, proporcionada por la Administración Pública Extremeña. Para abordar diferentes contextos espaciales en términos de condiciones morfológicas, climáticas, etc., las 4 áreas de estudio se encuentran repartidas en diferentes puntos de la geografía extremeña, permitiendo, de este modo, obtener resultados más representativos de la enfermedad en distintos escenarios.

### **VARIABLES USADAS EN EL MODELADO PREDICTIVO**

#### **VARIABLES DEPENDIENTES**

Para entrenar el modelo, la variable dependiente (a predecir) a escala regional ha consistido en una serie de focos de seca localizados a lo largo de todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Extremadura (Figura 3). Los datos han sido proporcionados por la Administración Pública Extremeña y poseen diferente origen y

metodologías de identificación (ver Manzano et al., 2016 para detalle sobre origen y características de los datos de focos de seca). Consiste en un mapa de puntos georreferenciados, en el que cada uno de ellos se usa como localizador de un rodal afectado de seca, estando inserto en el interior del rodal. La precisión espacial de la localización del punto se considera suficiente para la escala del modelo que se persigue y de las variables usadas como predictoras.

A escala de rodal o foco, la pretensión ha sido analizar una serie de áreas afectadas de seca en algunos de los lugares incluidos dentro de la Red Natura 2000. Para ello, de forma previa, se tuvo en cuenta la densidad de presencia de focos de seca a escala regional, y se escogieron lugares de alta densidad de focos. Para el análisis de densidad se aplicó al mapa regional de focos un estimador kernel de densidad con un radio de búsqueda de 500 metros en ArcGis 10.5.

Los espacios naturales protegidos finalmente escogidos fueron: Monfragüe, la Sierra de San Pedro, las Dehesas de Jerez y la zona de Canchos de Ramiro y Ladronera. En estos espacios, se seleccionaron 4 focos de seca (Figura 3) en los que llevó a cabo una tarea de digitalización de pies de *Quercus* mediante el análisis comparado de ortofotografías de diferentes fechas procedentes del Centro Nacional de Información Geográfico (CNIG) (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). En concreto, se han comparado las ortofotografías del vuelo Interministerial del año 1976, las correspondientes al año de 2005/2006 y las de máxima actualidad del año 2016. Sobre las ortofotografías, se ha digitalizando cada pie de *Quercus* en la imagen de 1976, llevando a cabo un seguimiento temporal de los mismos sobre la de 2005/2006 y la de máxima actualidad. De esta forma, partiendo de la situación libre de seca, correspondiente a 1976, se han clasificado los árboles que permanecen vivos hasta la actualidad y los que han desaparecido o se ven afectados de seca en los períodos 1976-2005/2006 y 2005/2006-actualidad. Los árboles muertos en los diferentes períodos han servido de muestra para la fase de entrenamiento y comprobación del modelo predictivo a escala de rodal.

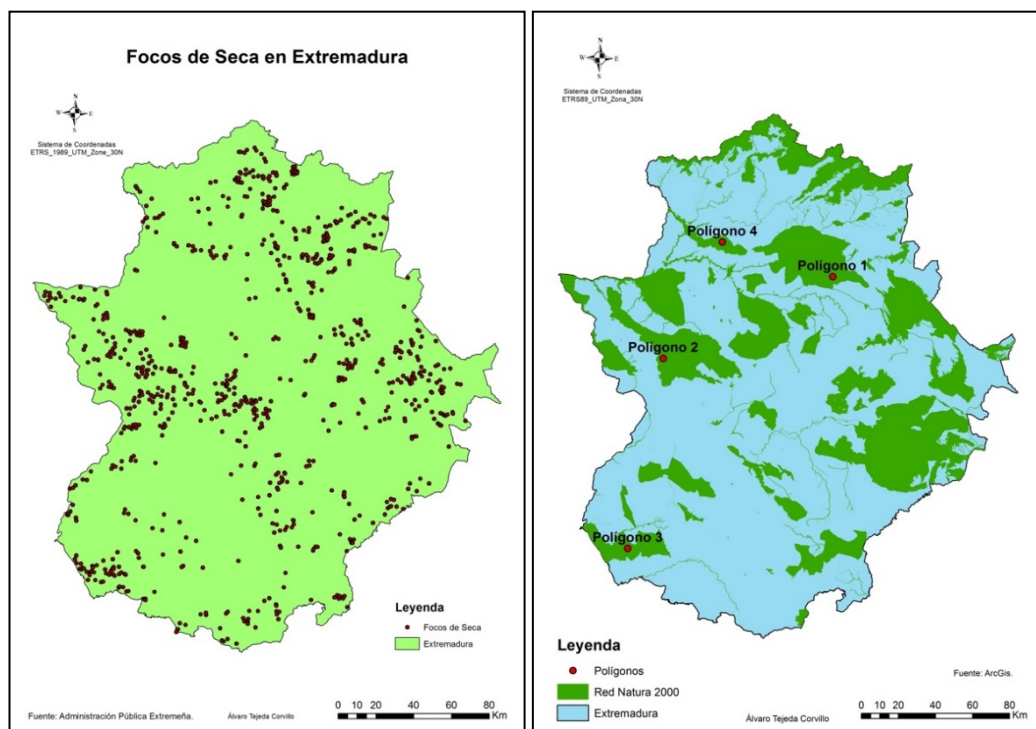


Figura 3 (izquierda): Distribución de focos de seca en Extremadura. Elaboración propia a partir de datos de la Administración regional

**Figura 4 (derecha):** Espacios naturales de la Red Natura 2000 y localización de los polígonos de seca considerados como áreas de estudio a escala local: Polígono 1, Monfragüe, Polígono 2, Sierra de S. Pedro; Polígono 3, Dehesas de Jerez y Polígono 4, Canchos de Ramiro y Ladronera. Elaboración propia.

### Variables predictoras

Como variables predictoras a escala regional, han sido consideradas una variedad de ellas, fundamentalmente de carácter topográfico o morfométrico, de cobertura/ usos del suelo y climáticas (Tabla 1). Para cada una de ellas ha sido necesario generar la cartografía o descargarla de diversas fuentes, ya que las variables deben ser expresadas de forma espacial, en formato ráster y con idéntica extensión y tamaño de pixel por requerimientos del software MAXENT, utilizado en la modelización. Los datos y fuentes cartográficas empleadas a esta escala han sido obtenidas de:

- CNIG
- Mapa provincial de suelos de España (1:200.000)
- <http://www.worldclim.org/current> (Hijmans et al., 2005)
- <http://www.igme.es>. Mapa geológico de España (1:1.000.000)
- <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>

**Tabla 1:** Variables espaciales candidatas para la generación del modelo predictivo de seca a escala regional. Elaboración propia.

Tipo de variable	Variable	Descripción	Información	
			Formato	Escala/pixel
Topográficas	Elevación	Metros por encima del nivel del mar	Ráster	5x5 m
	Pendientes	Pendiente en grados (producción propia)	Ráster	5x5 m
	Orientación	Aspecto como un ángulo continuo	Ráster	5x5 m
	Curvatura	Planos combinados y curvaturas de perfil	Ráster	5x5 m
	Curvatura Plana	Curvatura perpendicular a la dirección de la pendiente máxima	Ráster	5x5 m
	Curvatura de Perfil	Curvatura paralela a la dirección de la pendiente máxima	Ráster	5x5 m
	TPI	Índice de posición topográfica	Ráster	5x5 m
TWI	Índice de humedad	Ráster	5x5 m	
Climáticas y Bioclimáticas	Precipitación	Total media mensual, total media anual (mm*10)	Ráster	1x1 km

Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

Temperaturas	Media anual, medias mensuales ( $^{\circ}\text{C} \cdot 10$ )	Ráster	1x1 km
Radiación	Radiación solar potencial anual ( $10 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{micrómetro})$ )	Ráster	1x1 km
BIO1	Temperatura media anual	Ráster	1x1 km
BIO2	Rango medio diurno (Media mensual(max temp - min temp))	Ráster	1x1 km
BIO3	Isoterma (BIO2/BIO7) (* 100)	Ráster	1x1 km
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar *100)	Ráster	1x1 km
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	Ráster	1x1 km
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	Ráster	1x1 km
BIO 7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)	Ráster	1x1 km

Climáticas y Bioclimáticas	BIO 8	Temperatura media de la estación más húmeda	Ráster	1x1 km
	BIO 9	Temperatura media de la estación más seca	Ráster	1x1 km
	BIO 10	Temperatura media de la estación más cálida	Ráster	1x1 km
	BIO 11	Temperatura media de la estación más fría	Ráster	1x1 km
	BIO 12	Precipitación anual	Ráster	1x1 km
	BIO 13	Precipitación del mes más húmedo	Ráster	1x1 km
	BIO 14	Precipitación del mes más seco	Ráster	1x1 km
	BIO 15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)	Ráster	1x1 km
	BIO 16	Precipitaciones de la estación más húmeda	Ráster	1x1 km
	BIO 17	Precipitaciones de la estación más seca	Ráster	1x1 km
	BIO 18	Precipitaciones de la estación más cálida	Ráster	1x1 km
	BIO 19	Precipitaciones de la estación más fría	Ráster	1x1 km
Geología y suelos	Tipo de suelo	Acrisol, Antrosol, Arenosol, Calcisol, Cambisol, Chernozem, Feozem, Fluvisol, Leptosol, lixisol, luvisol, regosol, umbrisol, vertisol.	Vector	1:200,000
	Litología	Areniscas, Dolomías y Calizas, Gneises, cuarcitas, granitoides, conglomerados, pizarras, serpentinas y peridotitas, vulcanitas y rocas volcanoclásticas	Vector	1:1,000,000
	Materia orgánica del suelo	Contenido de materia orgánica del suelo (%)	Vector	1:200,000
	pH del suelo	pH del suelo	Vector	1:200,000

Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

Vegetación	Facción cabida cubierta (%)	Mapa Forestal de España, MFE50	Vector	1:50,000
	Facción cabida cubierta total (%)	Mapa Forestal de España, MFE50	Vector	1:50,000
	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (media 5 años mensuales y anuales)	Ráster	1000
	Estructura de la vegetación	Mapa Forestal de España, MFE50	Vector	1:25,000
Económicas y geográficas	Distancia al agua	Distancia al curso de agua más cercano	Vector	1:200,000
	Unidades animales 2009 (Número de cabezas)	Unidades de animals por municipio en 2009	Data	Municipal

A la escala de rodal, se seleccionaron una serie de variables topográficas y morfométricas, de cubiertas del suelo y de radiación solar, esta última como una aproximación a las condiciones microclimáticas del terreno (Tabla 2).



**Tabla 2.** Variables espaciales candidatas para la generación del modelo predictivo de seca a escala local.  
Elaboración propia.

Tipo de variable	Variable	Descripción	Información	
			Formato	Escala/pixel
Topográficas	Elevación	Metros por encima del nivel del mar	Ráster	5x5 m
	Pendientes	Pendiente en grados (producción propia)	Ráster	5x5 m
	Curvatura	Planos combinados y curvaturas de perfil	Ráster	5x5 m
	Curvatura Horizontal	Curvatura perpendicular a la dirección de la pendiente máxima	Ráster	5x5 m
	Curvatura Vertical	Curvatura paralela a la dirección de la pendiente máxima	Ráster	5x5 m
	TPI	Índice de posición topográfica	Ráster	5x5 m
	TWI	Índice de humedad	Ráster	5x5 m
	TRI	Índice de rugosidad	Ráster	5x5 m
	Catchment area	Área de captación	Ráster	5x5 m
	Flow Width and Specific Catchment Area	Área de captación específica y ancho de flujo	Ráster	5x5 m
Climáticas y Bioclimáticas	Radiación	Radiación solar potencial anual (10 kJ/(m <sup>2</sup> *día*micrómetro))	Ráster	5x5 m
	Radiación otoño	Radiación en meses de otoño	Ráster	5x5 m
	Radiación invierno	Radiación en meses de invierno	Ráster	5x5 m

## Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

	Radiación primavera	Radiación en meses de primavera	Ráster	5x5 m
	Radiación verano	Radiación en meses de verano	Ráster	5x5 m
Clasificaciones	Tipo de cubierta del suelo	Clasificación según el tipo de cubierta del suelo (Arbórea, Pastizal, Matorral y Suelo desnuda)	Ráster	0,25x0,25 m

### Configuración de Maxent y generación de los modelos espaciales

Una vez obtenidas las variables necesarias, se llevó a cabo la generación del modelo mediante el software Maxent 3.3.3, autoejecutable en código Java (Figura 5). El algoritmo necesita dos tipos de datos, por un lado los datos de presencia de los focos o árboles afectados con sus coordenadas geográficas en formato CSV (valores separados por comas) y por otro lado las diferentes variables generadas que afectan a la especie en formato texto, indicando si se trata de variables categóricas o continuas.

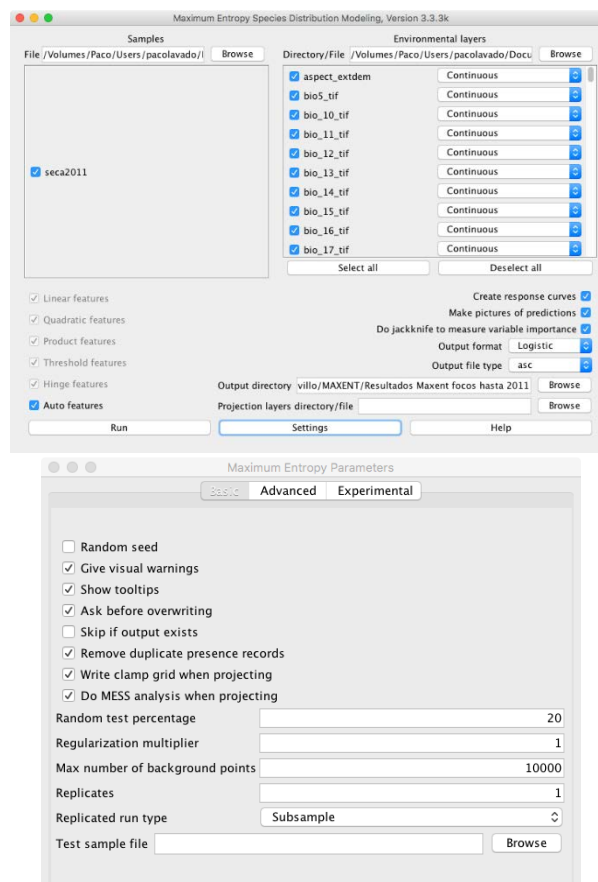


Figura 5. Instantánea de la pantalla de configuración de Maxent 3.3.3. Elaboración propia

La transformación de formatos de ráster a texto se realizó en ArcGIS 10.5. Para la generación del modelo, se dejaron los valores predeterminados por el propio programa tal y como recomiendan Phillips et al. (2006), utilizando el método de remuestreo "Subsample". Una vez que se han indicado los diferentes parámetros y se ha ejecutado el modelo, Maxent proporciona la información analítica en tablas y gráficas, así como un archivo ráster descriptivo del mapa de distribución potencial. Para su correcto desempeño, requiere de un mínimo de datos de presencia que pueden corresponderse con 15 o 20 casos mínimos, debido a que al usar valores inferiores se puede incrementar artificialmente la consistencia del modelo (Mateo et al, 2011).

En la fase de entrenamiento del modelo se usó el 80% de los puntos (focos a escala regional y árboles afectados o muertos a escala local), dejando el 20% restante para la comprobación (grupo test) de los resultados.

Por su facilidad para la interpretación en programas de Sistemas de Información Geográfica (Quesada et al, 2017), se eligió una escala logística en formato texto a la hora de generar los resultados del modelo y los mapas de susceptibilidad a la seca.

La validación de los resultados de los modelos regionales y locales, se ha basado en el calculado la curva del área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) (AUC). La curva ROC es una representación gráfica de la sensibilidad frente a la especificidad para un sistema clasificador binario (seca o no seca) según se varía el umbral de discriminación. En este caso, la sensibilidad hace referencia a la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado sea definido como positivo (afectado de seca) para la prueba, mientras que la especificidad hace referencia a la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea el definido como negativo (no afectado de seca) (López de Ullibarri et al, 2001).

El valor AUC (Area Under the Curve) o área bajo la curva ROC, que nos indica la capacidad de predicción del modelo y la fiabilidad del mismo, refiriéndose a la probabilidad que tiene un dato de presencia de estar situado en una celda ráster cuya probabilidad de presencia y viceversa para las ausencias o pseudoausencias. Los valores AUC están recogidos en un rango entre 0,5 y 1, siendo el valor de 1 el que representa la mayor capacidad predictiva del modelo, mientras que un valor de 0,5 nos muestra un modelo de predicción pobre o similar a uno generado al azar (La Manna et al, 2012). De esta forma, existe una clasificación por rangos para determinar la fiabilidad predictiva de los modelos (según Mateos, 2014):

- $AUC < 0,75$ . El modelo es pobre.
- $0,75 < AUC < 0,85$ . El modelo es aceptable.
- $0,85 < AUC < 0,95$ . El ajuste es bueno.
- $AUC > 0,95$ . El ajuste del modelo es excelente.

Otro método de validación del modelo llevado a cabo, ha sido la generación de 11 test binomiales que calculan la significación estadística de la clasificación final sobre el valor continuo de la probabilidad generado por Maxent (Canran et al, 2016). Estos 11 test de validación son el valor fijo acumulado I; valor fijo acumulado 5; valor fijo acumulado 10; el mínimo de puntos de presencia de entrenamiento; el percentil 10 de los puntos de presencia de entrenamiento; prueba de igualdad de la sensibilidad y especificidad de entrenamiento; valor máximo de la sensibilidad más la especificidad de entrenamiento; prueba de igualdad de la sensibilidad y especificidad de prueba; valor máximo de la sensibilidad más la especificidad de prueba; balance de los puntos de omisión de entrenamiento, área predicha y valor umbral; comparación de la entropía de las distribuciones originales y consideradas a un umbral determinado (Phillips et al, 2006).

Para la realización de mapas binomiales, es necesario escoger entre uno de los test binomiales señalados con anterioridad para establecer un umbral de probabilidad para el modelo, de forma que los píxeles que tengan

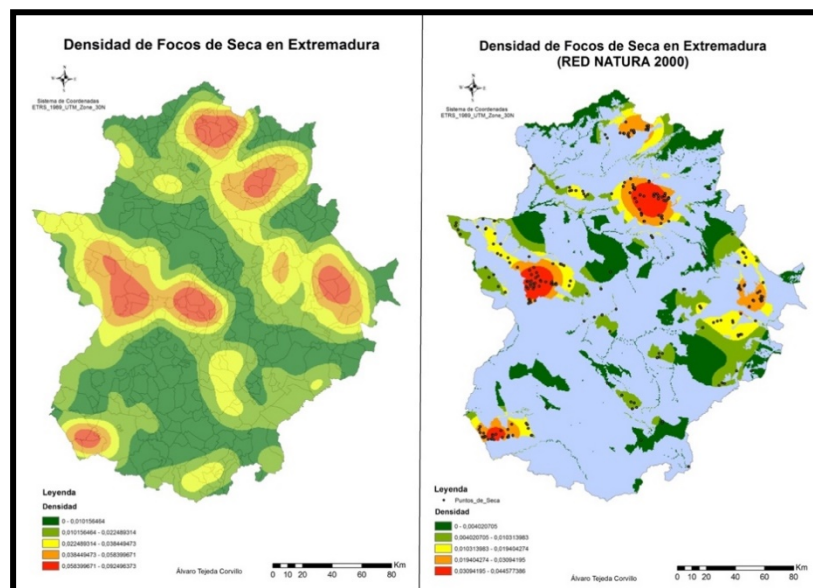
un valor igual o superior a ese umbral sean píxeles idóneos para la existencia de la especie y los píxeles que se encuentren por debajo del umbral sean inapropiados para la existencia de la especie (Borrega, 2016). En el caso de este estudio, el test binominal escogido ha sido el valor máximo de la sensibilidad más la especificidad para el conjunto de datos de comprobación (test), por ser uno de los umbrales más idóneos para medir el grado de probabilidad en este modelo (Canran et al., 2016).

Por otro lado, también se ha realizado una prueba jackknife desde el programa Maxent para identificar el peso que tiene cada variable en la generación del modelo y en la presencia seca en una determinada zona. Esta prueba consiste en determinar la precisión de una estimación. Calcula el efecto de cada grupo en que los datos han sido divididos, no tomando el resultado de ese grupo individualmente y el efecto del conjunto de datos que resulta de omitir dicho grupo, utilizando muestras de tamaño inferior al de la muestra estudiada.

## RESULTADOS

### Análisis de los focos

En Extremadura, los focos de seca se encuentran, en la actualidad, repartidos por toda la región, aunque hay zonas que poseen un mayor número de focos debido a la presencia de dehesas con características favorables para el desarrollo y la transmisión de esta afección. Como se puede apreciar en el mapa de la figura 6, a la izquierda, la región extremeña se encuentra altamente afectada por este problema, con gran parte de su territorio mostrando una elevada densidad de focos de seca.

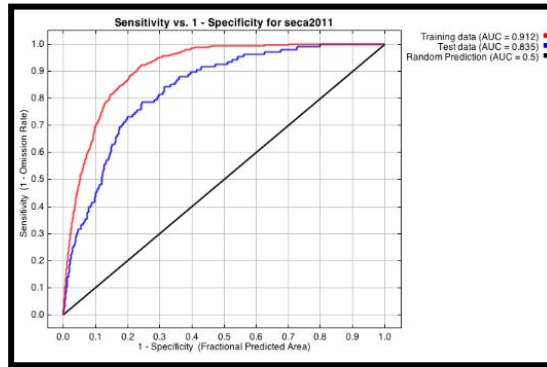


**Figura 6:** Densidad de focos de Seca en Extremadura, expresada como número de focos por hectárea, y en Red Natura 2000. Elaboración propia.

Entre los espacios naturales protegidos (Figura 6, derecha), los que poseen mayor densidad de focos son las áreas correspondientes a la comarca de Villuercas-Ibores-Jara, la zona de Jerez de los Caballeros, el Parque Nacional de Monfragüe y la Sierra de San Pedro. Estos parajes, son los que están sufriendo con más agresividad la incidencia de esta afección, que está mermando las poblaciones de *Quercus* en sus dehesas, aunque la realidad es que la seca se encuentra repartida por todo el territorio.

### Modelo de distribución regional

El modelo de distribución realizado con Maxent para todo el territorio de Extremadura ha obtenido un valor de AUC de 0,91 para los datos de entrenamiento y de 0,83 para los de validación, por lo que se puede decir que el modelo generado tiene una muy buena capacidad predictiva, siendo acotado de manera certera por las diferentes variables utilizadas.



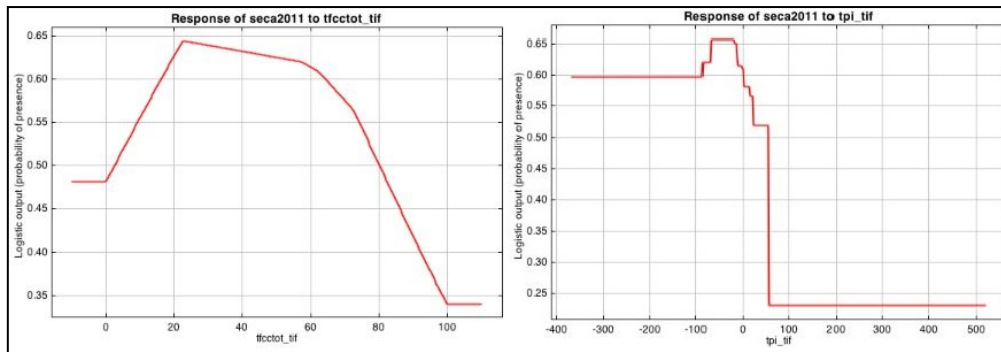
**Figura 7:** Valores AUC de la curva ROC del modelo generado a escala regional. Elaboración propia.

Según la prueba jackknife realizada para inferir la importancia de las variables, las que más peso tienen en el modelo de distribución de seca regional son, por orden, las que aparecen reflejadas en la (Tabla 3). Entre las variables con mayor importancia destacan la fracción de cabida cubierta total (cubierta de especies arbustivas y arbóreas), el NDVI de Junio y el promedio anual, el valor de altitud y el del índice de posición topográfico (TPI). Otras variables que también han mostrado un peso elevado fueron el valor del campo “sobrecarga” del inventario forestal nacional (que hace referencia a diferentes grupos estructurales de vegetación) o diferentes variables climáticas.

**Tabla 3.** Variables con mayor peso en la distribución de seca a escala regional según el modelo Maxent. Elaboración propia.

Variable	Porcentaje de Contribución
Fracción de cabida cubierta total	28
TPI	6,3
NDVI de Junio	5,5
Modelo digital de elevaciones	4,8
NDVI medio anual	3,9

## Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

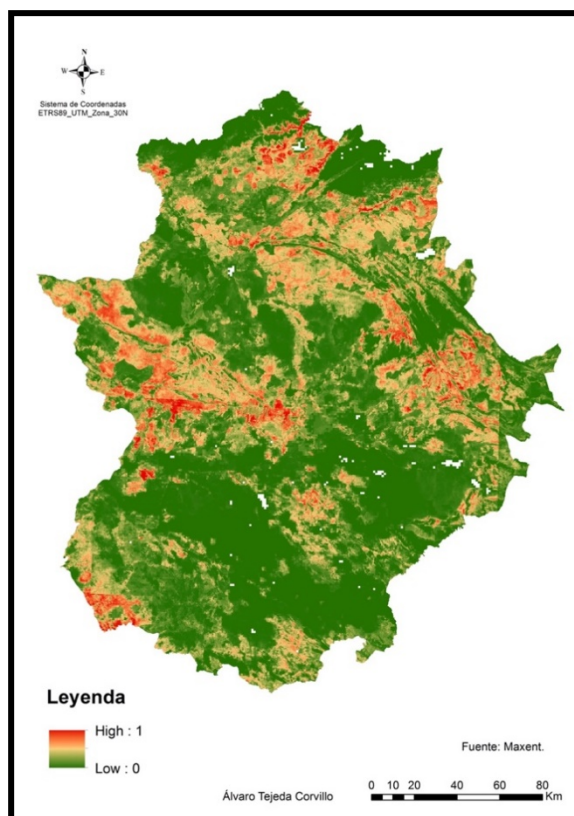


**Figura 8:** Comportamiento de las variables: fracción de cabida cubierta total (izquierda) e índice de posición topográfica (derecha) en la generación de probabilidad de seca. Elaboración propia.

Las dos variables que en mayor medida contribuyen a explicar el modelo fueron la fracción de cabida cubierta total (Figura 8, izquierda) y el índice de posición topográfica (Figura 8, derecha). Para la primera, se puede apreciar, según el gráfico generado por Maxent, que existe un aumento notable del riesgo de seca a medida que aumenta la cabida cubierta total desde el 0 al 20%, manteniéndose alto hasta valores de aproximadamente el 60% y disminuyendo a medida que los porcentajes de cubierta se hacen más elevados, probablemente debido al efecto del incremento de la superficie correspondiente al matorral, en detrimento de la de árboles. En cuanto al índice de posición topográfica (TPI), que muestra valores positivos para los píxeles situados en posiciones elevadas respecto a los que le rodean y negativos para los situados en posiciones deprimidas, los valores de probabilidad fueron mayores, entre 0.6-0.65, para valores de TPI negativos, mostrando un marcado umbral que discrimina la baja posibilidad de desarrollar seca en áreas elevadas de la elevada probabilidad de las posiciones deprimidas. Esto último, guarda también relación con los valores de altitud, según los cuales, a menor altitud, la probabilidad de presencia de seca es mayor, mientras que para altitudes superiores a los 600 metros, la probabilidad de presencia cae por debajo de 0,38.

En términos de patrón espacial, el resultado final del modelo generado por Maxent es reflejado en el mapa de la figura 9, en el que aparece representada la probabilidad (que puede interpretarse como riesgo) de seca a escala regional. El mapa refleja, en escala graduada entre el color verde (menor riesgo) y rojo (mayor riesgo), la idoneidad de las condiciones ambientales para la presencia de esta afección.

Por otro lado, se ha realizado una reclasificación para establecer los valores de probabilidad como cuartiles (Figura 10). Según ello, la mayor parte de la región muestra valores de probabilidad potencial de seca entre 0 y el 0,25; lo que supone una superficie de 2.918.871 hectáreas. El segundo rango de probabilidad más común en Extremadura es el de 0,25 a 0,5, distribuido en un total de 796.300 hectáreas. Los dos anteriores constituirían rangos de valores que implican bajo o nulo riesgo de seca. Los valores entre 0,5 y 0,75, implicaron a una superficie de 348.831 hectáreas, siendo los valores de probabilidad más elevados, entre 0,75 y 1, lo que implican una superficie menor, aunque muy relevante en términos de riesgo de 34.508 hectáreas.



**Figura 9:** Modelo de distribución potencial (riesgo) de seca en Extremadura. Elaboración propia.

Las superficies que se encuentran recogidas dentro de los rangos de probabilidad de 0,5 a 0,75 y de 0,75 a 1, constituyen territorios con una alta susceptibilidad a verse afectados por la seca, por darse en ellos las condiciones necesarias para su desarrollo. En relación al total de la superficie de la región extremeña, la superficie recogida dentro el rango de 0,5 a 0,75 constituye un 9% del total (348.831 hectáreas), mientras que las superficies con un rango de probabilidad entre 0,75 y 1, representan el 1% (34.508 hectáreas). Esto nos muestra la amenaza que supone este problema fitosanitario para el territorio extremeño.

En la validación del modelo de distribución a escala regional mediante el test binomial aplicado, correspondiente al valor máximo de la sensibilidad más la especificidad para el conjunto de datos de comprobación (test), el umbral marcado por dicho test fue de 0,322, caracterizándose los píxeles que mostraron valores por encima de esta cifra como píxeles con probabilidad de seca y lo contrario para los que mostraron valores inferiores (Figura 11)

Ya que en la generación del modelo se han utilizado como puntos de presencia los focos de seca hasta 2011, se llevó a cabo una validación adicional del modelo binario con un conjunto de datos posteriores en el tiempo, correspondientes a los focos de seca inventariados a partir de 2012 (Figura 11).

Los resultados del proceso anteriormente descrito ponen de manifiesto que un 46% de los focos de seca se corresponderían, según el modelo binomial de la figura 11, con áreas predichas como con riesgo de seca. No obstante, una buena parte de los focos no predichos se encontrarían ubicados en áreas susceptibles a un nivel de probabilidad menor.

Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

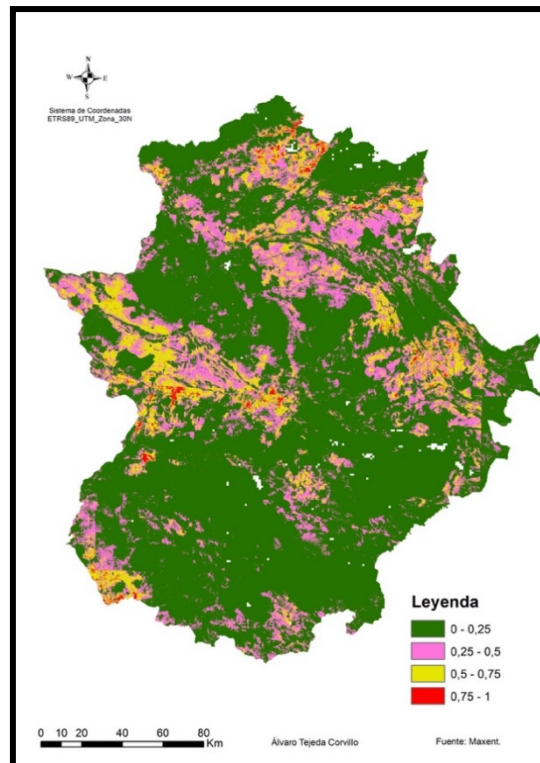


Figura 10: Distribución de superficies según su porcentaje de probabilidad de seca. Elaboración propia.

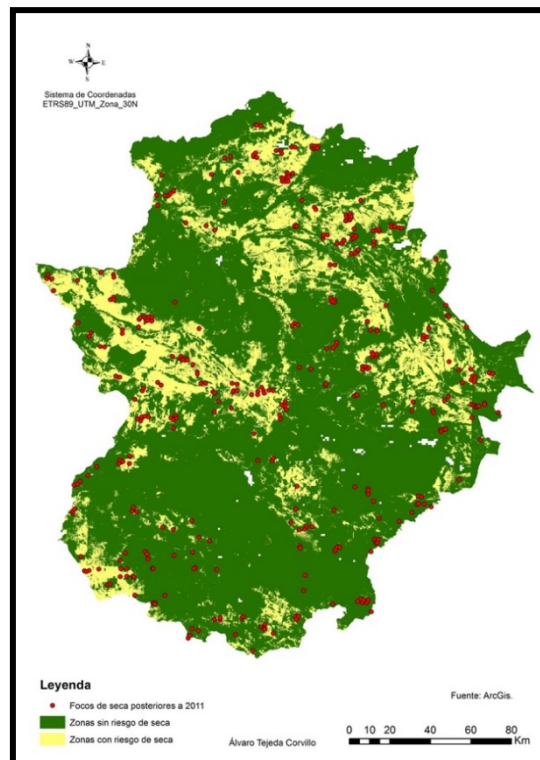
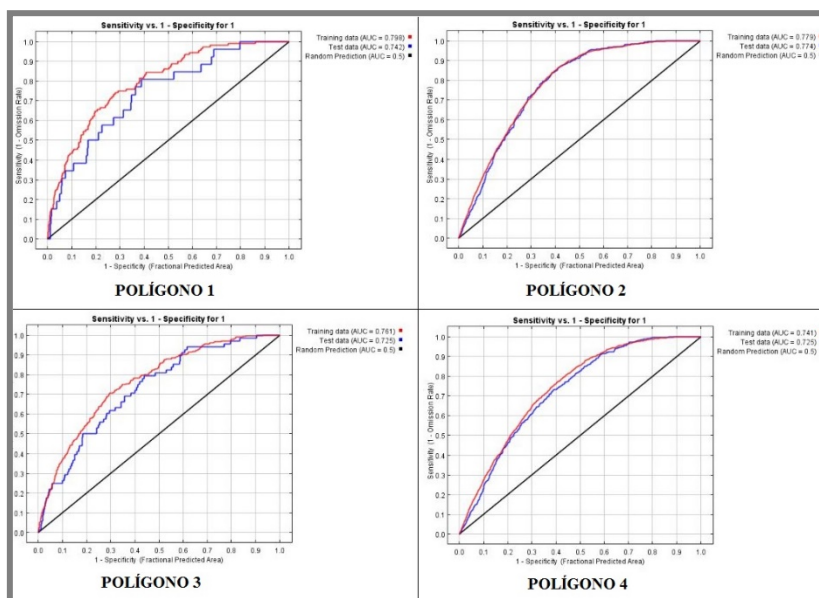


Figura 11: Mapa binario de probabilidad de seca a escala regional según el umbral "maximum test sensitivity plus specificity". Elaboración propia.



### Modelos de distribución a escala local

En los modelos de distribución a escala local, realizados en 4 áreas de estudio (en adelante, polígonos 1 a 4) situadas en lugares de la RED NATURA 2000, el promedio de valor AUC de la curva ROC entre los modelos de las cuatro áreas de estudio fue de 0,74 (rango entre 0,72 y 0,77), que se consideran valores aceptables, más si se considera la inmediatez y escaso número de las variables utilizadas para la generación de estos modelos locales.



**Figura 12:** Valores AUC de la curva ROC para los cuatro modelos locales. Elaboración propia.

En los resultados de las pruebas jackknife realizadas para estimar la importancia de las variables, las que mayor peso han tenido en la generación de los modelos han sido el valor de altitud, el tipo de cubierta del suelo, la radiación solar potencial en otoño y la pendiente y rugosidad del terreno (TRI) (Tabla 4). Entre estas variables, las dos variables que mayor peso han tenido en los cuatro modelos realizados han sido el valor de altitud y el tipo de cubierta del suelo, que mostraron porcentajes de contribución al modelo mucho mayores que el resto de variables en los cuatro casos.

**Tabla 4.** Variables con mayor peso en la distribución de seca a escala regional según el modelo Maxent. Elaboración propia.

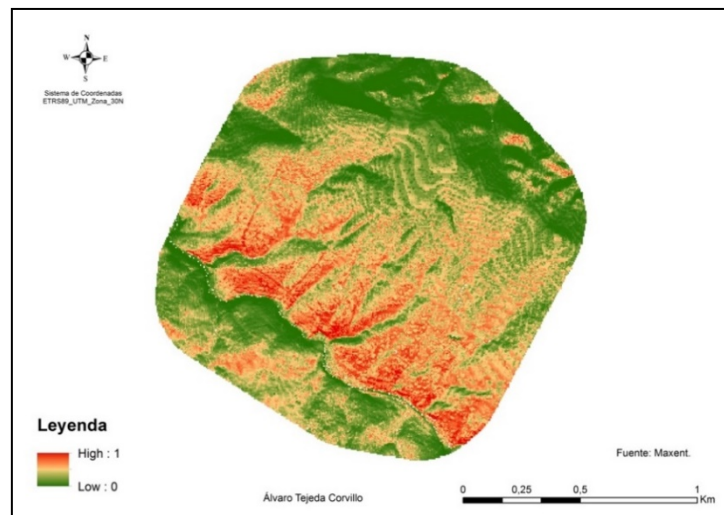
Variable	Porcentaje de Contribución
Modelo digital de elevaciones	35
Tipo de cubierta del suelo	34,5
Radiación solar potencial en otoño	12
Pendiente	4
Rugosidad del terreno (TRI)	2

## Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

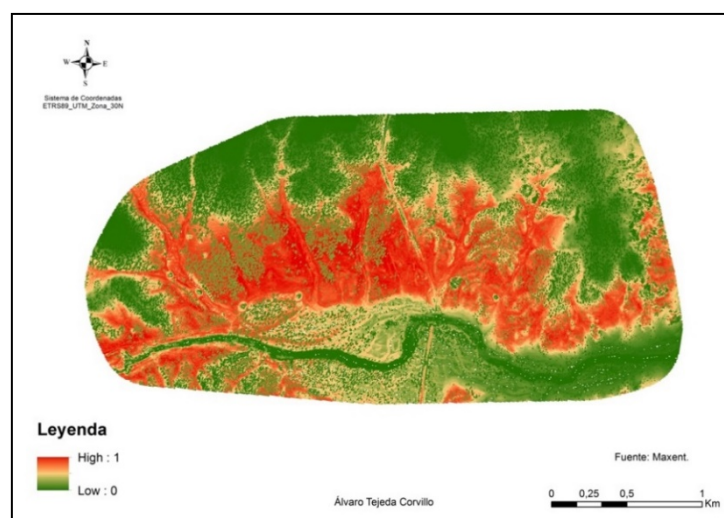
Los valores de altitud en los cuatro polígonos oscilan entre los 260 metros de altitud mínima y los 540 metros de altitud máxima, existiendo una diferencia media de cota en cada polígono de 100 metros. Las altitudes con mayor rango de probabilidad han sido aquellas dispuestas entre los 290 y 320 metros, correspondientes a una potencialidad de seca entre 0,60 y 0,75, produciéndose un descenso de la probabilidad de presencia de seca conforme se incrementa la altitud, hasta alcanzar una probabilidad 0 para valores de más de 350 metros. El tipo de cubierta del suelo fue clasificada como cobertura arbórea, pastizal, matorral y suelo desnudo, correspondiendo al pastizal el mayor valor de probabilidad de seca, aprox. 0,60, seguido del suelo desnudo con valores entre 0,45 y 0,55%, si bien estos últimos indican riesgo bajo.

Cabe destacar la importancia que ha tenido en la generación de los cuatro modelos la radiación solar potencial en otoño, mostrando una tendencia de probabilidad de seca al alza conforme aumenta la insolación, teniendo unos valores medios de probabilidad de 0,65 en los casos más bajos y de 0,90 en los más altos.

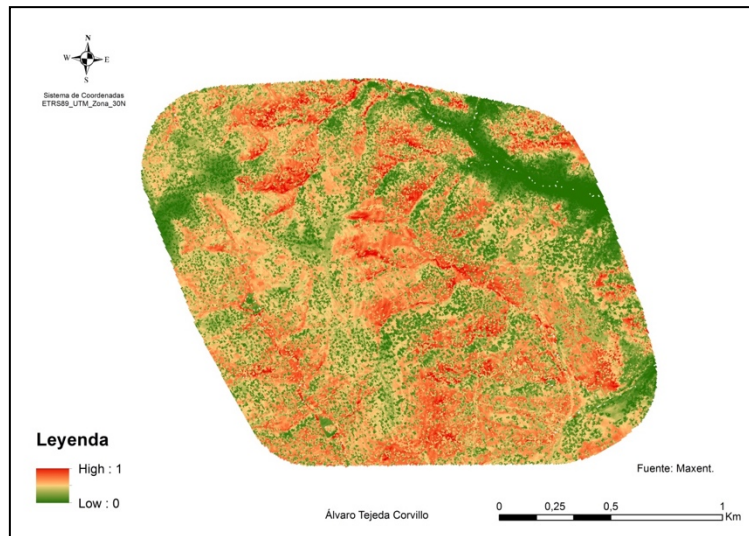
Las figuras 13, 14, 15 y 16 representan los valores de probabilidad generados con los modelos Maxent elaborados para los cuatro polígonos seleccionados como áreas de estudio en zonas de Red Natura 2000. La escala de colores de verde a rojo indica menor a mayor potencialidad de seca.



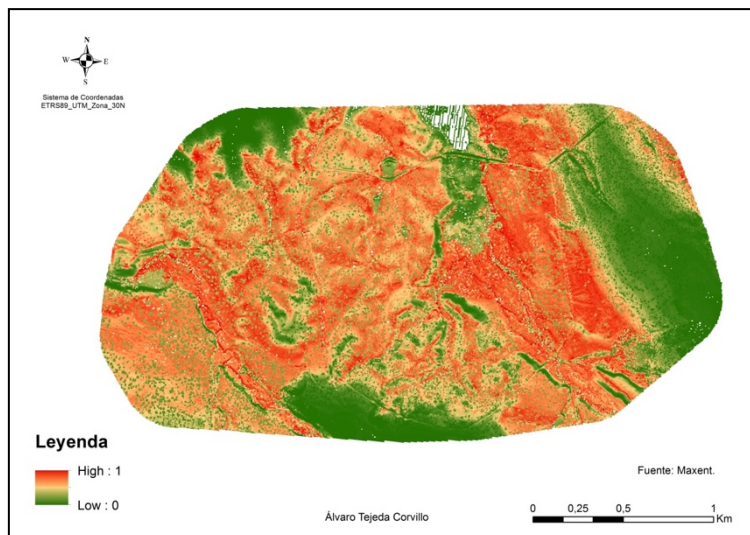
**Figura 13:** Modelo de distribución de seca en el polígono 1. Elaboración propia.



**Figura 14:** Modelo de distribución de seca en Polígono 2. Elaboración propia.



**Figura 15:** Modelo de distribución de seca en Polígono 3. Elaboración propia.



**Figura 16:** Modelo de distribución de seca en Polígono 4. Elaboración propia.

Al igual que para el modelo regional, para facilitar la interpretación de los mapas, se realizó una reclasificación de los valores por cuartiles. En general, los resultados han sido dispares entre los 4 polígonos estudiados, aunque, por regla general, el rango de probabilidades con mayor representación espacial en los diferentes polígonos identifica los valores más bajos de probabilidad (entre 0 y 0,5).

El primer polígono es el más pequeño (Figura 17), con una extensión de 237 hectáreas, entre las cuales el rango de probabilidades más representado es el de 0-0,25, que se extiende por una superficie de 108 hectáreas, seguido de las 84 hectáreas que se encuentran con valores de probabilidad entre 0,25 y 0,5. Los valores correspondientes a mayor riesgo están menos representados espacialmente, con 38 hectáreas mostrando valores de 0,5-0,75 y 2 hectáreas con valores entre 0,75 y 1. A pesar de ser menores en términos absolutos, estas últimas 39 hectáreas suponen el 16,5% de la superficie total.

El segundo polígono (Figura 18), el de mayor extensión, abarca 675 hectáreas, de las que 374 hectáreas cuentan con probabilidades potenciales de seca en el rango 0-0,25, y 137 hectáreas entre 0,25 y 0,5. La superficie restante, un total de 153 hectáreas, suponen una probabilidad entre 0,5 y 0,75%, no existiendo ninguna zona

dentro de este polígono con niveles de probabilidad de seca mayores. Las 153 hectáreas de mayor potencialidad de seca suponen, en este caso, el 23% de la superficie total del área de estudio.

El tercer polígono ocupa una extensión de 326 hectáreas (Figura 19), de las que 137 poseen un nivel de probabilidad entre 0 y 0,25%, y 135 hectáreas entre 0,25 y 0,5. Los rangos de potencialidad más elevados se abarcan, en este caso, 73 hectáreas para el rango 0,5-0,75 y 2 hectáreas para el de 0,75-1. Las 74 hectáreas de mayor valor de potencialidad de seca representan aquí el 23% de la superficie del área de estudio.

El cuarto polígono cuenta con una extensión de 558 hectáreas (Figura 20), entre las que 211 cuentan con una muy baja probabilidad de verse afectadas por la seca (rango 0-0,25) y 182 hectáreas poseen una probabilidad baja de 0,25% a 0,5%. El resto de la superficie, un total de 152 hectáreas, cuenta con una probabilidad más elevada, de 0,55 a 0,75%, no existiendo en este polígono ninguna zona con un nivel de probabilidad mayor. Estas 152 hectáreas de mayor riesgo, representan el 27% de la superficie del área de estudio.

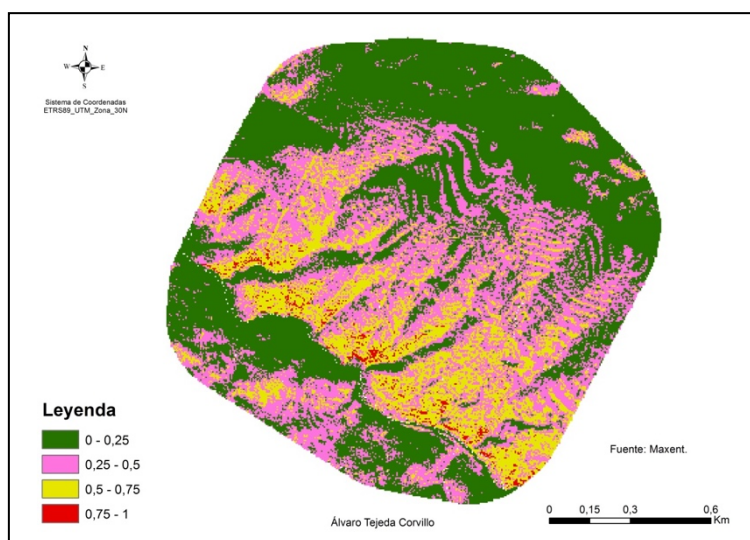


Figura 17: Mapa de probabilidad de seca por cuartiles en Polígono 1. Elaboración propia.

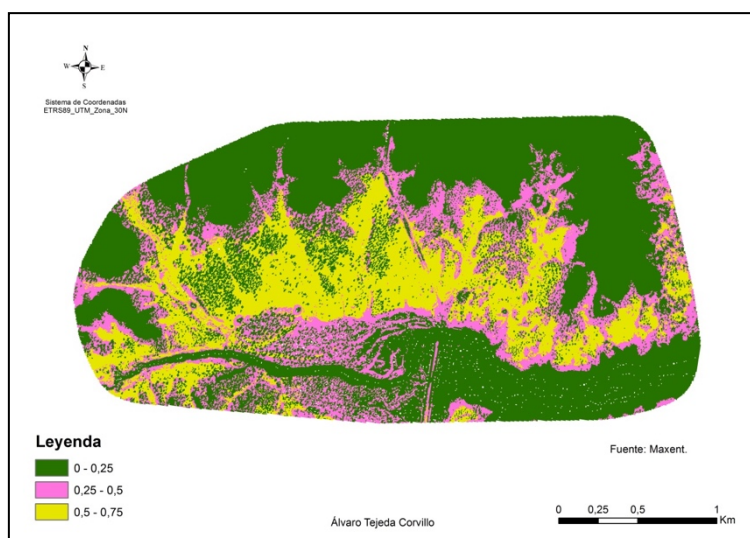
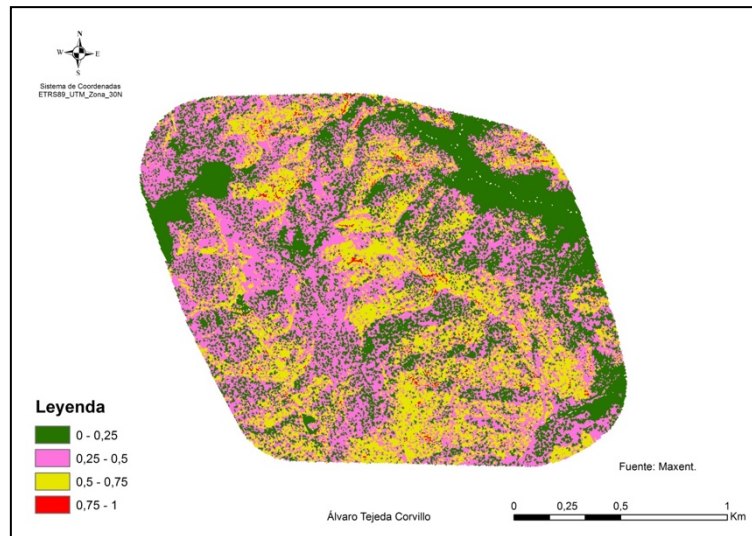
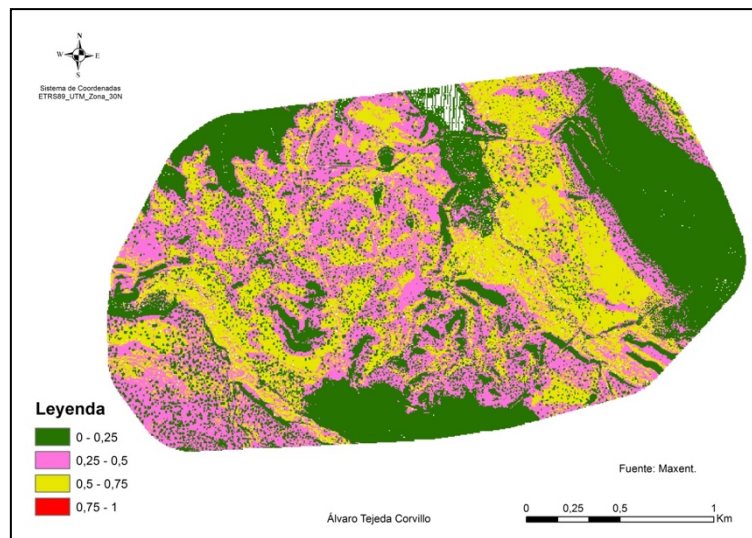


Figura 18: Mapa de probabilidad de seca por cuartiles en Polígono 2. Elaboración propia.



**Figura 19:** Mapa de probabilidad de seca por cuartiles en Polígono 3. Elaboración propia.



**Figura 20:** Mapa de probabilidad de seca por cuartiles en Polígono 4. Elaboración propia.

De los datos anteriormente comentados, se observa que, en promedio, el 22,3% de la superficie analizada a escala local presentaría valores de probabilidad potencial de seca entre 0,5 y 1; lo que supone entre 1/5 a 1/4 de dicha superficie.

En la validación de los modelos de distribución a escala local mediante el test binomial del valor máximo de la sensibilidad más la especificidad para el conjunto de datos de comprobación (test) (Figuras 21, 22, 23 y 24), el umbral de este test ha sido de 0,401 de media entre los cuatro modelos realizados. Valor que se ha considerado de referencia para realizar la cartografía. En esta escala local, los datos utilizados como puntos de presencia para la generación del modelo fueron las muertes de *Quercus* en el período 1976-2005/2006, por lo que se han los árboles muertos con posterioridad a ese período de *Quercus* se usaron como procedimiento adicional de validación del modelo local. Tras la realización del análisis, el 71% de las muertes de *Quercus* posteriores a 2006, como promedio de los cuatro polígonos, se han producido en áreas con predichas como susceptibles de seca según el modelo binario generado con el umbral de probabilidad de 0,401.



Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

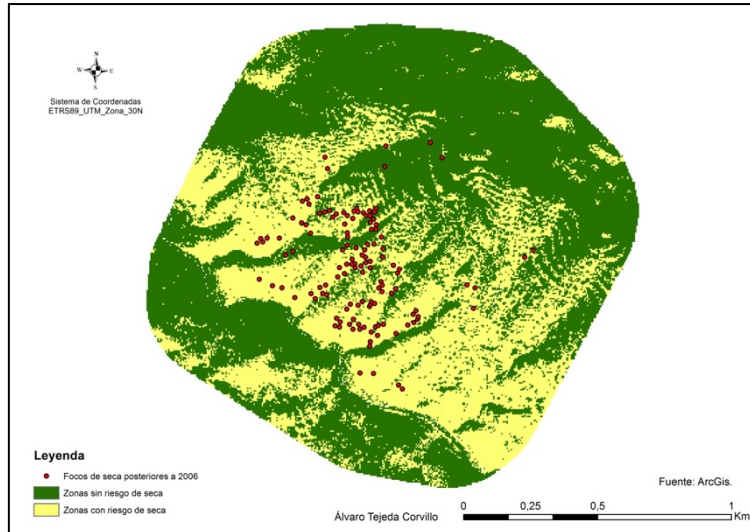


Figura 21: Mapa binario de probabilidad en Polígono 1. Elaboración propia.

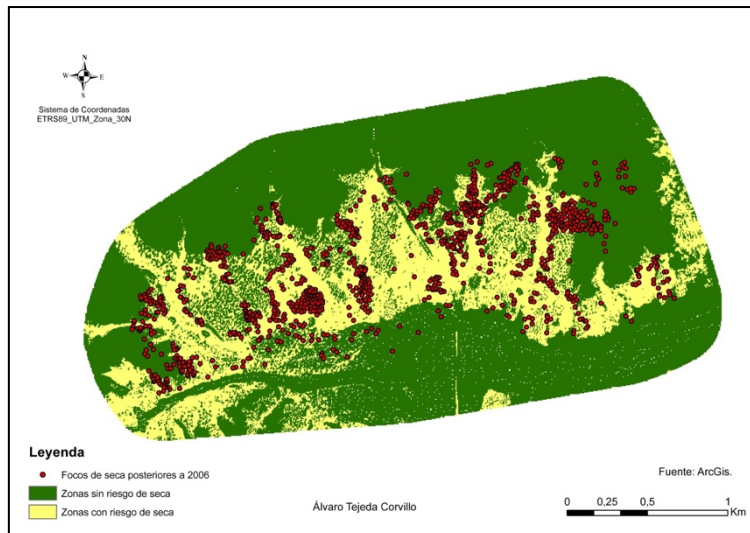


Figura 22: Mapa binario de probabilidad de seca en polígono 2. Elaboración propia.

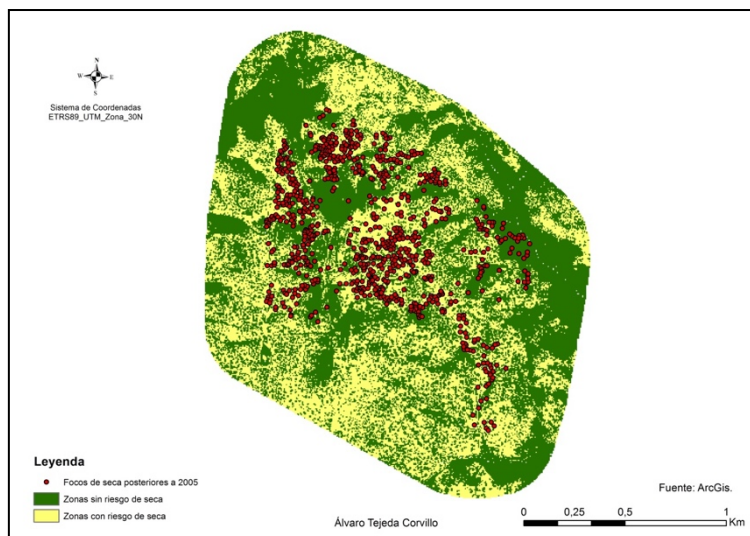
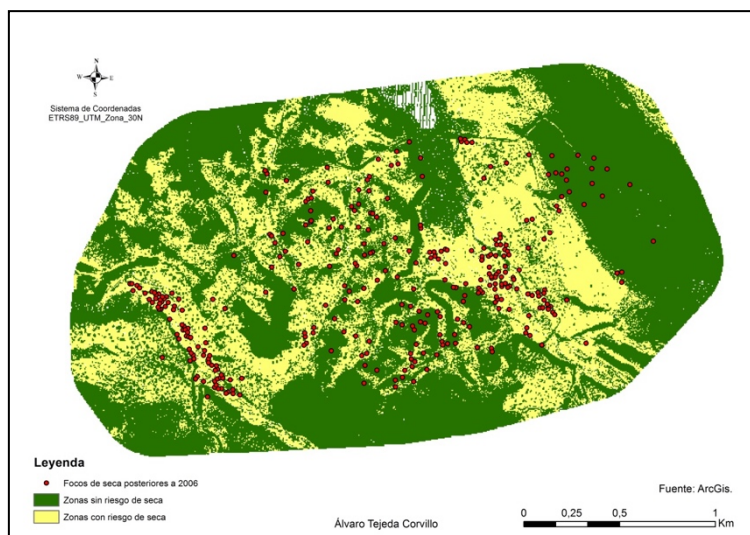


Figura 23: Mapa binario de probabilidad en Polígono 3. Elaboración propia.



**Figura 24:** Mapa binario de probabilidad de seca en polígono 4 según el umbral Maximum test sensitivity plus specificity. Elaboración propia.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados arrojados por los modelos realizados nos muestran el nivel de riesgo potencial alto en el que se encuentra la comunidad autónoma de Extremadura a verse afectada por la seca, estando expuesta una gran parte de su territorio a la presencia de esta afección. El modelo realizado a escala regional muestra un total 1.179.639 hectáreas propensas a verse afectadas por dicha afección, dentro de las cuales, cabe destacar que 383.339 hectáreas muestran un nivel de riesgo potencial alto de presencia de seca, entre 0,5 y 1, lo que supone un 10% de todo el territorio extremeño. El mapa binario generado mediante el umbral del valor máximo de la sensibilidad más la especificidad para el conjunto de datos de comprobación generado por Maxent, muestra como una gran parte del territorio extremeño se encuentra por encima del valor de probabilidad de presencia de seca establecido por dicho umbral, apreciándose en la dinámica temporal como gran cantidad de focos de seca surgidos después de 2011 se encuentran en esos territorios con probabilidad elevada.

En los modelos realizados a escala local en los 4 polígonos seleccionados dentro de la Red Natura 2000, se ha observado con más detalle el comportamiento de la seca y su evolución temporal, mediante la clasificación de las muertes de *Quercus* por esta afección, lo que ha permitido conocer cuáles son las variables que más afectan a la seca y a su proceso de propagación. Entre estas variables más determinantes en la presencia de seca, según el peso que han mostrado el conjunto de las variables en la generación de los modelos en Maxent, destacan la altitud, al verse favorecida la seca en zonas bajas y de acumulación de agua. Otra variable determinante es el tipo de cubierta del suelo, siendo los espacios de pastizal las zonas con mayor probabilidad. Cabe destacar la importancia que han tenido en la generación de los modelos otras variables como la radiación solar potencial o el índice de rugosidad del suelo, estableciéndose como factores clave en la presencia de seca en el terreno.

En estos polígonos locales se ha podido observar la fiabilidad de los modelos realizados, encontrándose más de un 70% de los focos posteriores a 2005/2006 dentro de las zonas establecidas como zonas con riesgo de seca en los mapas binarios por el umbral del valor máximo de la sensibilidad más la especificidad. El total de focos restantes, se han ajustado en su mayoría a los territorios marcados por el modelo como propensos de seca, encontrándose en el rango entre 0,5 a 1, aunque no se encuentren por encima del umbral mencionado con anterioridad.

Estos modelos de distribución de especies resultan muy útiles a la hora de estudiar el comportamiento de las mismas y su posible distribución geográfica, sintetizando las relaciones entre las especies y las variables ambientales que les afectan. Pero estos modelos no dejan de ser una simplificación de la realidad, su estabilidad y fiabilidad está claramente afectada por el número de presencias empleadas para generar el modelo, debido a que se pueden realizar datos insuficientes o irregulares que lleven a modelos sesgados (Mateo et al, 2011). No obstante, estos modelos son unas herramientas muy útiles en el estudio de las especies, como por ejemplo las invasoras, o los efectos que puede tener el cambio climático en las mismas, por lo que el desarrollo y la perfección de los mismos constituyen un factor clave a la hora de realizar estudios de estas características de cara al futuro.

Tras la realización de esta investigación, cabe destacar el nivel de riesgo de seca de *Quercus* en el que se encuentra Extremadura, contando con una gran cantidad de territorios con un nivel de probabilidad alto de presencia de la misma. Esta afección supone un grave problema para un territorio como el extremeño, en el que la dehesa tiene una gran importancia, siendo el motor de la economía de muchas de sus zonas rurales gracias al sistema de explotación que se lleva a cabo en los terrenos adehesados, el cual se está viendo en peligro por multitud de amenazas, siendo una de las más graves la estudiada en este trabajo. La pérdida de dehesa supone un grave problema no solo económico, sino también cultural al perderse un signo de identidad de un territorio como el extremeño, que siempre ha estado vinculado a la dehesa y ha desarrollado entorno a esta una amplia gama de tradiciones y culturas.

En Extremadura, se está observando con el paso del tiempo como las superficies de dehesa se están viendo reducidas por diferentes motivos, siendo uno de los principales la seca de *Quercus*, que está provocando la muerte de una gran cantidad de árboles año tras año, habiéndose producido un aumento de esta afección en un periodo de tiempo relativamente corto. Además de aquellos lugares de dehesa en los que la seca está provocando una gran mortandad de *Quercus*, debido al carácter agresivo de esta afección, este estudio ha permitido establecer otros territorios propensos a verse afectados por la seca en el futuro, mostrando como una gran parte del territorio extremeño se encuentra bajo la amenaza de presencia de seca, con unos niveles altos de probabilidad en muchas zonas de la región.

Un estudio de estas características es de suma importancia a la hora de intentar subsanar un problema de estas características, que está poniendo en peligro la supervivencia del arbolado de las dehesas y de este sistema agrosilvopastoril, permitiendo focalizar las posibles medidas para subsanar este problema fitosanitario en estos lugares descritos por los modelos como zonas potencialmente favorables para la presencia de seca, favoreciendo abordar el problema de forma más efectiva y certera. Sería importante, de este modo, llevar a cabo medidas y soluciones encaminadas a erradicar o frenar el avance de la seca, para aminorar los efectos de la misma en las dehesas extremeñas, permitiendo, así, intentar poner fin a un problema que está poniendo en jaque al territorio extremeño.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento al Servicio de Conservación de la Naturaleza y Áreas Protegidas del Gobierno de Extremadura, por el soporte cartográfico brindado a este estudio mediante la cesión de los datos regionales de localización de focos de seca utilizados en el modelo regional.

Mención especial para Ana Belén Lucas Pimienta y Joaquín L. Dávalos Méndez por la atención brindada y los conocimientos aportados en este ámbito que han permitido la elaboración y perfeccionamiento del estudio realizado.



## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson R.P., Lew D. y Peterson A.T., (2003): "Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models". *Ecological Modelling* 162:211-232.
- Borrega, R., (2016): "Influencia del cambio climático en los cervunales de la Península Ibérica". Trabajo Fin de Máster, Universidad de Extremadura.
- Gaetano, P.; Sánchez, J.E.; Sánchez, M.E.; Trapero, A., (2010): "Podredumbre radical de la encina y el alcornoque". Grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Canran, L., GraemE, N., Matt, W., (2016): "On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data". Arthur Rylah Institute for Environmental Research, Department of Environment, Land, Water and Planning, Heidelberg, Victoria 3084, Australia. *Ecology and Evolution* 2016; 6(1): 337-348.
- Carrasco, A. y Cols., (2009): "*Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca), Situación del Conocimiento.*" Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 112 pp. Córdoba.
- Espinosa, D., Aguilar, C., Escalante, T., (2001). "Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones". Llorente J, Morrone JJ eds. pp. 31-37. Las Prensas de Ciencias, México, D. F.
- Gómez, P.J., Espejo, A.J., Ortiz, F., Caño, A.B., (2016): "Manejo del suelo frente a la erosión en dehesa". Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Sevilla.
- Hernández Díaz-Ambrona, C.G. (1996). "Problemas en la dehesa: La falta de regeneración del arbolado". Agroexpo96.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis. (2005): "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas". *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Illoldi, P., Escalante, T., (2008): "De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica". Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/286336295> (Último acceso Julio 2018).
- La Manna, L., Matteucci, S.D., Kitzberger, T., (2012): "Modelling Phytophthora disease risk in *Austrocedrus chilensis* forests of Patagonia". Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina. *Eur J Forest Res* (2012) 131:323-337.
- López De Ullibarri Galparsoro I, Píta Fernández, S., (2001): "Curvas ROC". Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (España). *CAD ATEN PRIMARIA* 1998; 5 (4): 229-235.
- Manion, P. D., (1991): "*Tree Disease Concepts*". Prentice-Hall Ed., Londres. 402 pp.
- Manzano Serrano, M.J., Folgueiras González, R., Germinal Belvis De Miguel, G., Prieto Blázquez, J. M., (2016): "Mapa de riegos de focos de Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura", *GeoFocus* (Artículos), nº 18, p. 105-123. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.475>.
- Mateos, E. (2014): "Modelización predictiva mediante algoritmos de máxima entropía de los bosques de México ante diversos escenarios de cambio climático". Universidad de Extremadura, Escuela Politécnica. Proyecto fin de Carrera.
- Mateo, R.G., Felicísimo, A.M., Muñoz, J., (2011): "Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética." *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.

Modelos espaciales predictivos del riesgo de seca en Extremadura. Aplicaciones a escala regional y local en espacios naturales protegidos

- Monreal, J.A., Galletero, A., Chumillas, R., D. Salvador Andres, (1997): "Contribución al estudio de la seca de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) en el noreste de la provincia de Albacete". E.T.S.I.A. Ingeniería Técnica Forestal. Campus Universitario S/N. 02071 - ALBACETE.
- Montoya, J.M., Mesón, M.L., (2012): "La seca: el modelo explicativo global". Ampliación hecha por los autores en la Mesa Redonda "La dehesa y otros pastos semiáridos". *Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2008*. Instituto de Ecología Aplicada.
- Ninyerola, M., Pons, X. y Roure, JM., (2005): "Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica". ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- Pérez Díaz, A., (2015): "La dehesa: ¿Un paisaje en agonía?". *Revista de Estudios Extremeños*, Vol. 71, nº 1, pp. 569-604.
- Phillips, S.J. Anderson, R.P. Schapire, R.E., (2006): "Maximum entropy modelling of species geographic distributions". *Ecological Modelling*, 190:231-259.
- Phillips, S.J. Dudík, M., Schapire, R.E., (2004): "A maximum entropy approach to species distribution modeling". In: Brodley, C.E. (ed.), *Machine Learning: Proceedings of the Twenty-first Century International Conference on Machine Learning*, Banff, Canada. ACM Press, p. 655-662.
- Pulido F. y Picardo, Á., (2010): "*Libro verde de la dehesa*". Disponible en: <http://www.dehasasibericas.es/dehesa/descargas/> (último acceso Julio 2018).
- Quesada-Quirós M., Acosta-Vargas, L.G., Arias-Aguilar, D., Rodríguez-González, A. (2017): "Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica". *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 14(34), 1-12. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2991/2808>.
- Rosado, M. (2016): "La seca: la epidemia silenciosa de la dehesa extremeña". Artículo del Periódico de Extremadura. ([http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/seca-epidemia-silenciosa-dehesa-extremena\\_951570.htm](http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/seca-epidemia-silenciosa-dehesa-extremena_951570.htm)). (Último acceso Junio 2018).
- Sánchez-Osorio, I. et al., (2005): "Cerambycids xilófagos de encina y alcornoque en Andalucía: Algunas notas sobre la identificación de especies del grupo *Cerambyx*, sus daños al arbolado y las posibilidades de control de sus poblaciones". Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Huelva.
- Tuset, J.J.; Hinarejos, C.; Mira, J.L., (2006): "La causa parasitaria de la seca de *Quercus*. Departamento de Protección Vegetal y Biotecnología". Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, Valencia, España.
- Tuset, J.J.; Hinarejos, C.; Mira, J.L.; Cobos, J.M., (1997): "Síntomas de estrés hídrico y de seca de encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) inoculadas con *Phytophthora cinnamomi* en una dehesa del centro de España". Departamento de protección vegetal y biotecnología. Ivia, Moncada (VALENCIA).
- Osinfor, (2013): "Modelamiento espacial de nichos ecológicos para la evaluación de presencia de especies forestales maderables en la amazonia peruana". Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. Presidencia del Consejo de Ministros. Perú.



