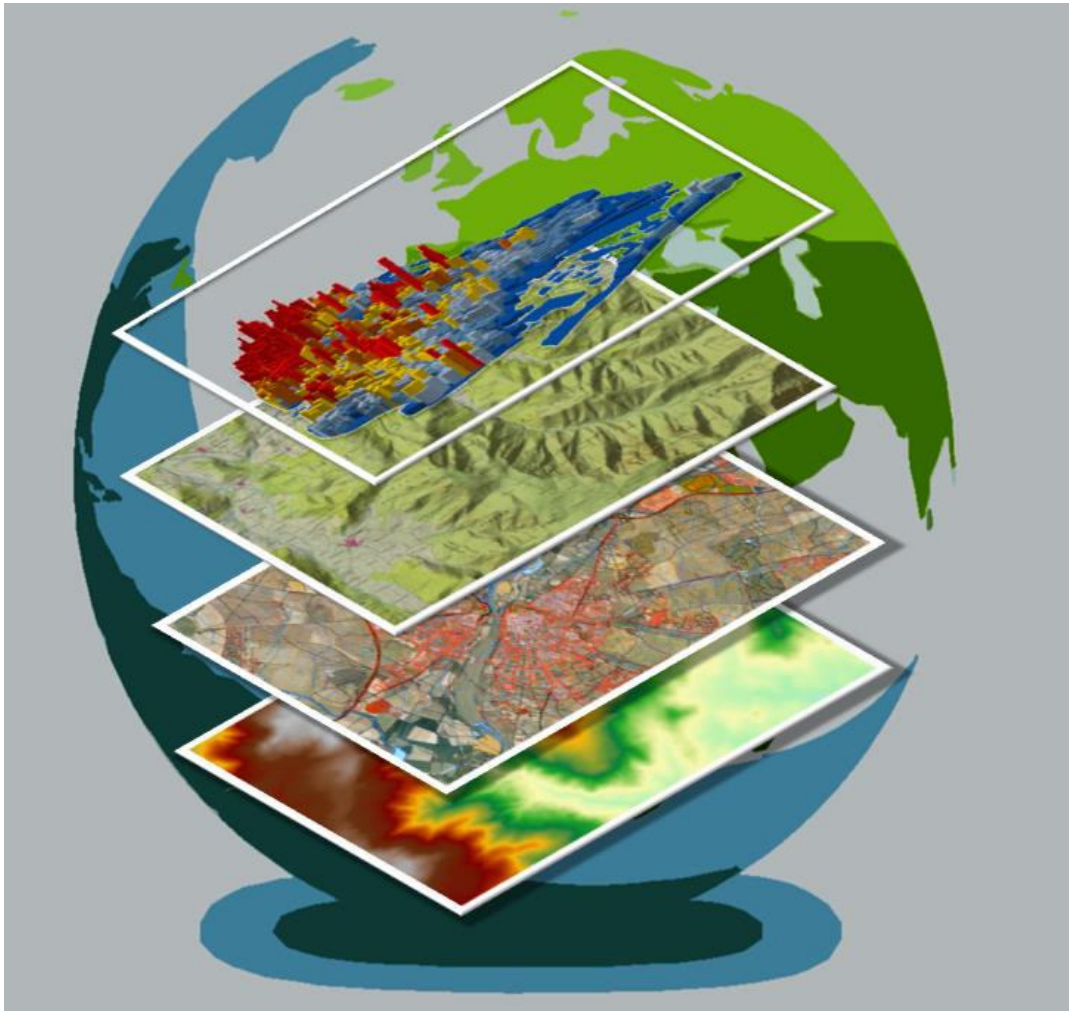


TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL ANÁLISIS ESPACIAL.

***Aplicaciones en los Sectores Público,
Empresarial y Universitario.***

Nieto Masot, A. (Ed.)





JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía e Infraestructuras



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa

Edita:

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

Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura

Nieto Masot, A. (Ed.)

***TECNOLOGIAS DE LA
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
EN EL ANÁLISIS ESPACIAL.
Aplicaciones en los Sectores
Público, Empresarial y
Universitario.***

©Nieto Masot, A. (Ed.), 2016
© De los textos, sus autores, 2016

Colaboraciones:
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: noviembre - 2016

Diseño cubierta: Ana Nieto Masot
Texto y Fotografías interior: autores y archivos correspondientes

Impresión: Cáceres

ISBN: 978-84-617-6760-1

Depósito Legal: CC - 395 - 2016

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.

Contenido

PRÓLOGO	9
Ana Nieto Masot	
INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CERVUNALES DE LA PENÍNSULA IBÉRICA	11
Ruben Borrega Claver y Juan Francisco Lavado Contador	
TENDENCIAS EN LA LOCALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS SUBVENCIONADOS A TRAVÉS DEL MÉTODO LEADER (2007-2013) EN EXTREMADURA	33
Gema Cárdenas Alonso	
LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE CÁCERES	47
Faustino Cordero Montero y Luis Antonio Álvarez Llorente	
EL EMPLEO DE LOS SIG PARA ANALIZAR EL ENVEJECIMIENTO DEMOGRÁFICO EN EXTREMADURA Y SU IMPLANTACIÓN EN EL MEDIO RURAL Y URBANO	65
Celeste García Paredes	
ANÁLISIS DE LA VIVIENDA VACÍA EN EXTREMADURA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	79
David Hernández Íñigo	
CERCO RESIDENCIAL A LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS. LA COMARCA DE LA VERA (CÁCERES)	93
Victor Jiménez Barrado y Antonio-José Campesino Fernández	
APLICACIÓN DE LOS S.I.G. A LA RESTAURACIÓN DE RÍOS Y RIBERAS. EL PROYECTO DE INTEGRACIÓN DEL RÍO EN LA CIUDAD DE CABRA.	109
Federico Julián Fuentes	
LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN TERRITORIALES COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DIPUTACIÓN DE CÁCERES	129
David Lagar Timón	
LOS SIG APLICADOS A LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA EN 1º DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA	141
José María Martín Vecino, Ana Nieto Masot e Isaac Buzo Sánchez	

COMBINACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y TERRESTRES PARA LA PRODUCCIÓN DE UN MDE DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL.....	161
--	-----

Héctor Ramón Martínez Fernández.

APLICACIÓN DE LOS SIG EN LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE HONDURAS.....	189
--	-----

Dania Valentina Mena Arzú, José Antonio Gutiérrez Gallego, Francisco Jaiver Jaraíz y José Manuel Pérez Pintor

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SIG EN EL ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD VIAL DE LAS CARRETERAS EXTREMEÑAS.....	201
---	-----

Sergio Miguel, Elia Quirós y Pedro Rodríguez

ANÁLISIS DEL NIVEL SOCIOECONÓMICO DE LOS MUNICIPIOS ESPAÑOLES ENTRE 1998 Y 2012	215
---	-----

José Manuel Naranjo Gómez y Antonio García Manso

ESTIMACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD DE LAS PLATAFORMAS LOGÍSTICAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA TRAS LA CONSTRUCCIÓN DE LAS NUEVAS PLATAFORMAS EN BADAJOZ Y CAIA.....	231
--	-----

José Manuel Naranjo Gómez y José Antonio Gutiérrez Gallego

ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN. ESTUDIO DE CASO EN SIERRA DE GATA (2015).....	247
---	-----

Guadalupe Navazo Arenas, Ana Nieto Masot y Gerardo Moreno Marcos

MORFOLOGÍAS FLUVIO-GLACIARES DEL CRÁTER GALE Y SUS ANÁLOGOS TERRESTRES, COMO EVIDENCIAS DEL CLIMA FRÍO Y HÚMEDO DEL MARTE PRIMITIVO.	269
---	-----

Cristina Robas García, Ana Nieto Masot y Susanne Schnabel

PRÓLOGO

Ana Nieto Masot

Coordinadora del libro y del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica de la Universidad de Extremadura

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), concretamente los Sistemas de Información Geográfica, la Teledetección, la Cartografía digital, los GPS o la Fotogrametría constituyen una nueva ciencia en creciente expansión, debido a su variabilidad en su aplicación con ámbitos tan distintos como el medio ambiente y los recursos naturales, la demografía, la gestión de servicios públicos, el urbanismo, la ordenación del territorio, la planificación del transporte, el geomarketing, etc. Los Objetivos que se han planteado con la publicación de este libro son dar a conocer el potencial y las funcionalidades de estas tecnologías con la exposición de casos prácticos de usos en la Administración, la empresa privada, la Universidad o la investigación aplicada.

Con publicaciones como ésta queremos plasmar que no sólo están presentes en la actualidad en el mundo académico, sino que pueden ser percibidas por la población en múltiples campos: los instrumentos y satélites de observación de la Tierra (el sistema de geolocalización GPS, los Satélites Meteorológicos como METEOSAT y GOES, satélites heliosíncronicos para la gestión y prevención de riesgos y cambios medioambientales como MODIS, NOAA, LANDSAT, SENTINEL, etc), el creciente aumento de la información geográfica gratuita en internet (el éxito de Google Earth, Google Maps, Guías de viajes, rutas, etc), los metadatos asociados la información geográfica (creciente presencia y consolidación de estándares), su catalogación en Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEE, IDES regionales, locales, etc.) o el creciente interés por el conocimiento de software GIS. Por ello, se puede afirmar que están llegando a todos los estratos de la sociedad.

Desde la organización docente del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica de la Universidad de Extremadura y por segundo año consecutivo se han organizado unas Jornadas de Aplicaciones de las TIG con conferencias, mesas redondas y presentación de trabajos donde se dieran a conocer el desarrollo de proyectos con TIG en la Universidad, en diferentes empresas y en Administraciones Nacionales, Regionales y Locales: Gobierno de Extremadura, Grupos de Acción Local, Mancomunidades, Ayuntamientos,... De estas presentaciones se ha realizado una selección y también por segundo año consecutivo se optó por publicarlas en un libro para poder dar mayor difusión a las mismas y debido al éxito comprobado con la anterior edición (está siendo de referencia para alumnos, investigadores y otras empresas que han comprobado posibles aplicaciones de estas tecnologías en sus campos de aplicación).

Por ello, a continuación se encuentran capítulos dedicados a proyectos de las administraciones como la Infraestructura de Datos del Ayuntamiento de Cáceres, elaborado por el servicio de Sistemas de Información Geográfica de dicho Ayuntamiento o los estudios y aplicaciones realizados por la Diputación de Cáceres. En el caso del Ayuntamiento de Cáceres es una iniciativa donde las TIG tienen un papel primordial al haberse creado un geoportal con la información cartográfica de este núcleo urbano en distintas aplicaciones como callejeros, rutas por la ciudad, oferta de servicios para la ciudadanía, públicos como el transporte (paradas de autobús, paso de líneas regulares, paradas de taxis) y oficinas de turismo o privados como farmacias. En el caso de la Diputación nos exponen distintos estudios: la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales con los datos de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos de la provincia de Cáceres; análisis económicos y territoriales como el proyecto OTALEX donde han colaborado empresas, administraciones y universidades de las regiones transfronterizas de Alentejo, Extremadura y Centro o estudios de accesibilidad de la población a los equipamientos públicos proporcionados por la Diputación.

También en empresas como la Aplicación de los SIG a la restauración de ríos y riberas en la ciudad de Cabra desarrollado por Ambienta S.L, empresa que colabora en sus trabajos con Grupos de Investigación de la Universidad de Extremadura.

Por parte de la Universidad de Extremadura y con la participación de los Grupos de Investigación Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial y el Grupo en Investigación Geoambiental se expondrán proyectos e investigaciones aplicadas a la gestión económica como la problemática del envejecimiento demográfico como un factor que condiciona el desarrollo de los espacios rurales; el análisis de los cambios producidos en el nivel socioeconómico de los municipios españoles entre 1998 y 2012; la localización de los proyectos de desarrollo rural financiados por la Unión Europea en el período 2007-2013 (Método Leader); la problemática del aumento de las viviendas abandonadas o su construcción en espacios protegidos (el caso de la Vera en la provincia de Cáceres).

Se incluyen tendencias de nuevos estudios en la aplicación de los SIG que aparecen en trabajos donde se analiza la accesibilidad a servicios y equipamientos de la población como las nuevas plataformas logísticas fronterizas de Badajoz (España) y Caia (Portugal) o el estado de la seguridad vial de las carreteras extremeñas. O el diseño de un modelo para clasificar municipios en espacios tan alejados de nuestro territorio como es Honduras.

También se ha seleccionado un trabajo relacionado con las aplicaciones de estas tecnologías en nuevos ámbitos educativos como es en la Enseñanza Secundaria y su implantación en la asignatura de 1º de la ESO.

Por último, destacar en otra área de conocimiento complementaria de investigación universitaria como es el análisis medioambiental, se han seleccionado trabajos donde se estudia la influencia del cambio climático en la disminución de pastos naturales (cervunales) en la Península Ibérica, en estudios de paisaje y en nuevas tendencias de análisis espacial como son las evidencias del clima frío y húmedo del Marte primitivo o el impacto que ha supuesto en la vegetación los incendios forestales con el caso de estudio del sucedido en Sierra de Gata en el verano del 2015.

Esta actividad está incluida dentro de las acciones formativas del Master Oficial en Tecnologías de la Información Geográfica que lleva impartándose ya tres ediciones como Máster Oficial de la Uex pero que contaba previamente con una trayectoria desde el curso 2008 que se impartía como Título Propio. Por ello, se han celebrado ya nueve ediciones y se han formado más de 300 alumnos en estas materias viniendo de diferentes formaciones previas: Licenciados, Diplomados o Graduados en distintas disciplinas como Geografía, Ciencias Medioambientales, Ingenierías Forestal, Agraria e Industrial, Historia, Derecho, Humanidades o Biología, debido a la formación multidisciplinar que se imparte en el mismo. Hemos contado además con la participación de profesores de distintas áreas de conocimiento y de Universidades ajenas a la nuestra.

Este Máster va dirigido a estudiantes y profesionales de todos los ámbitos que se les brinda la oportunidad de profundizar y complementar su formación en campos como la fotogrametría, los sistemas de información geográfica (SIG), la cartografía o los sistemas de navegación por satélite (GNSS)), ahondando en aspectos de programación, diseño y gestión de bases de datos, desarrollo de proyectos y aplicaciones de las TIG. Además de la posibilidad de realizar prácticas externas en empresas y administraciones.

Por último, agradecer la colaboración de todos los participantes en la elaboración de esta publicación y que pueda ser lo más útil posible para futuros trabajos e investigadores. Y sin olvidar que la publicación del presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación concedida por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y por la Junta de Extremadura al grupo de investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial a través de la ayuda de referencia GR15121.

INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CERVUNALES DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Borrega Claver, Rubén¹, J. Francisco Lavado Contador²

¹ Licenciado en Biología y alumno de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica: SIG y Teledetección. Universidad de Extremadura.

² Grupo de investigación Geo-Ambiental (GIGA), Dpto. de A. y Ciencias del Territorio. Fac. de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura. frlavado@unex.es

RESUMEN

Los cervunales, cuya especie más representativa es Nardus stricta, son ecosistemas que en la Península Ibérica se desarrollan como céspedes compactos en alta montaña. Incluyen especies botánicas endémicas de alto valor para la biodiversidad europea y pastos de interés económico. Como el resto de hábitat de montaña, organizados en mosaicos de ecosistemas, los cervunales son muy sensibles a los efectos del cambio climático. El objetivo de este trabajo es el de determinar la evolución temporal de las áreas de distribución de los cervunales en las próximas décadas, identificando las variables climáticas que más afectan a la viabilidad de este hábitat, así como delimitar las áreas idóneas de distribución, presente y futuras, de los cervunales en la Península Ibérica y en Extremadura. Para ello se emplearán técnicas de minería de datos que se dirigirán al diseño de modelos de distribución potencial de especies, elaborados a través del algoritmo de máxima entropía (Maxent). Los modelos serán analizados e interpretados mediante técnicas basadas en SIG, tanto en formato ráster como vectorial.

Palabras Clave: cervunales, Maxent, SIG, Extremadura, cambio climático.

ABSTRACT

Cervunales, whose most representative species is Nardus stricta, are mountain habitats in the Iberian Peninsula developed as compact high mountain lawns. They include endemic plant species of high value for European biodiversity and also constitute pastures of economic interest. Like other mountain habitats, organized as ecosystem mosaics, cervunales are very sensitive to the effects of climate change. The objectives of this study is to determine the potential areas of distribution of some representative species of this habitat, as well as their temporal evolution in the near decades, identifying the climatic variables that affect their present and future viability in the Iberian Peninsula and in Extremadura. In order to achieve these objectives, models were developed representing the potential distribution of the selected species. The maximum entropy algorithm (Maxent) was used as the modeling technique. Models and maps of potential distribution based on climate variables were analyzed and interpreted using raster and vector map algebra in a GIS environment.

Key Words: Cervunales, Maxent, SIG, Extremadura, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Los cervunales son pastizales que forman céspedes compactos, dominados por el cervuno (*Nardus stricta*), una gramínea de hojas finas y duras de color verde intenso y con espiguillas afiladas de color negro. Se desarrollan sobre suelos húmedos y sustratos silíceos. Suelen ocupar zonas de vaguada, depresiones y contrapendientes, que favorecen la acumulación prolongada de una cobertura nival que suele desaparecer bruscamente con el deshielo primaveral (Rodríguez-Rojo y Sánchez-Mata, 2003). El interés ecológico de los cervunales radica en que son comunidades resistentes a la erosión, protegiendo el suelo de la alta montaña por su carácter tapizante. Constituyen un recurso natural importante al albergar un conjunto relevante de endemismos territoriales de alta montaña, que encuentran en estos hábitats sus límites meridionales; al tiempo que proporcionan recursos pascícolas estratégicos para el ganado, al actuar como estivaderos naturales en épocas secas, cuando los pastos de cotas inferiores se han secado. Por tanto, se trata de pastizales de carácter dinámico, mantenidos por herbívoros silvestres o, en su caso, por el manejo de ganado, de tal manera, que la ausencia de pastoreo de estos hábitats propiciaría la ocupación de los cervunales por piornales de *Cytisus scoparius* y *Genista florida*, (Escudero et al 2008). La importancia para la biodiversidad de las montañas mediterráneas y, por tanto, para las montañas de Extremadura y el Sistema Central, se manifiesta al incluirse dentro de la Red Natura 2000 como Hábitat de Interés Comunitario, con el epígrafe *Formaciones herbosas con Nardus, con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de la Europa continental)*.

En la Península Ibérica, los cervunales son abundantes en las zonas de clima boreal, ubicadas al norte de España. En las zonas de clima mediterráneo son muy escasos y requieren de zonas de montaña con influencia de clima atlántico, que les proporciona la humedad necesaria para su desarrollo. En Extremadura tienen su máxima representación en las sierras del norte de la provincia de Cáceres, pertenecientes al Sistema Central. Se desarrollan en las vertientes sur de las sierras de Gredos y Béjar, dentro de los límites administrativos de la región. También se desarrollan, aunque en menor superficie, en la sierra de Villuercas

En lo que respecta al futuro de estos hábitats sensibles, los efectos que el calentamiento global causará sobre los ecosistemas de alta montaña son inciertos. Se estima que afectará a la fauna, flora, suelos y recursos hídricos. Las plantas que se desarrollan en el mosaico de hábitat de alta montaña, por encima del límite de los pisos bioclimáticos forestales, se verán sometidas a diferentes procesos que aumentarán el estrés ambiental al que se ven sometidas. Los principales problemas que afectan a la flora de alta montaña están relacionadas con el carácter insular del hábitat donde se desarrollan, la reducida superficie que ocupan, un alto grado de aislamiento y dificultades para la dispersión de semillas, debido a la falta de espacio o barreras biológicas, (Escudero et al., 2012). Las consecuencias del cambio climático en medios quionófilos, como los cervunales, conllevarán diferentes efectos negativos para su desarrollo, extensibles al conjunto de mosaicos de alta montaña, como las turberas, medios muy relacionados con los cervunales higroturbosos. Algunos de los efectos que se prevén son los siguientes:

- Desplazamiento en altitud de su área de distribución. Este fenómeno requiere que haya espacio físico, es decir, cotas más elevadas donde poder desarrollarse, cuestión que en las montañas del Sistema Central y, por tanto, de Extremadura es complicado, dada la altitud de las montañas y que los cervunales suelen disponerse en cotas muy próximas a las cumbres. En cualquier caso, si esto fuera así, significaría una reducción de la extensión de su hábitat.

- Empuje de especies arbustivas y forestales de cotas más bajas, que ganarían territorios donde poder desarrollarse. Las especies leñosas ganarían altitud a medida que las condiciones climáticas se vayan atemperando, fenómeno conocido como matorralización, (Escudero et al., 2012), que se verá favorecido por el descenso de la precipitación en forma de nieve y su rápido deshielo. Este fenómeno reducirá la diversidad de microhábitats en alta montaña e incrementará la fragmentación de las poblaciones.

Con todo ello, se prevé que en montañas que no superen los 2300 a 2400 metros de altitud, los cervunales desaparecerán de las cotas inferiores de su área de distribución y se desplazarán a

zonas refugio, en topografías asociadas a crestas, neveros, canchales o laderas abruptas y expuestas (Fernández-González et al., 2005).

1.1. Modelos de distribución de especies.

Los modelos de distribución de especies son procedimientos que emplean herramientas estadísticas y cartográficas que permiten deducir áreas potencialmente idóneas para la supervivencia de las especies en función de sus características ambientales. Estos modelos reciben diferentes nombres: modelos de nicho, modelos de idoneidad, modelos predictivos de hábitat. Sin embargo, el más frecuente es el de modelos de distribución de especies Mateo et al. (2011). La forma de proceder consiste en el empleo de algoritmos que permiten generar mapas predictivos sobre la distribución potencial de especies en el espacio geográfico a partir de las distribuciones (conocidas o deducidas) de las especies en el espacio ambiental.

La modelización de la distribución de especies permite evaluar cuantitativamente la posibilidad de que una población de una especie ocupe un determinado lugar. La aplicación en la gestión ambiental es destacable, si se tiene en cuenta que pueden ser empleados para el diseño de reservas naturales, restauración de poblaciones, predicción de invasiones biológicas y evaluación de impactos, como los del cambio climático, sobre la distribución de las especies.

Para el presente trabajo, los modelos de distribución de especies generados se dirigen a la evaluación del impacto del cambio climático en la distribución potencial de las especies de cervunal seleccionadas. Para ello, son necesarias las variables ambientales y los datos de presencia de las especies, tratados como se ha indicado anteriormente.

En este trabajo se desarrollan modelos de distribución potencial de cuatro especies representativas de los cervunales, contextualizados al espacio geográfico de la Península Ibérica. Los modelos se han desarrollado considerando las características del nicho climático y la distribución actuales de las especies, así como para las condiciones climáticas esperadas en los años 2030, 2050 y 2100. Del análisis de estos modelos se extraen conclusiones sobre la influencia del cambio climático en los taxa analizados que, por su representatividad, podrían ser generalizados al conjunto de este singular medio ecológico. La determinación del hábitat potencial se ha basado en el algoritmo de máxima entropía, implementado en el software MAXENT, con ayuda de técnicas SIG.

1.2. Objetivos.

Los objetivos finales de este trabajo son: a) Delimitar las áreas idóneas de distribución, presente y futuras (para los años 2030, 2050 y 2100) de los cervunales y determinar su evolución temporal, considerando los efectos del cambio climático b) Conocer el impacto del cambio climático sobre los cervunales en la Península Ibérica; c) Identificar los factores climáticos más importantes que afectan a la viabilidad de los mismos.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio y grupos taxonómicos.

La Península Ibérica constituye el área de trabajo del estudio. La finalidad es doble, al permitir analizar la evolución de los cervunales en el conjunto de las montañas peninsulares y, además, disponer de una cantidad significativa de datos de presencia de los taxones analizados para validar, de forma conveniente, los modelos de distribución generados. Los resultados se particularizarán también para el área ocupada por cervunales de la Comunidad Autónoma de Extremadura y cómo se verán afectados por el cambio climático.

El conocimiento de la composición florística de los cervunales mediterráneos ha sido determinante para seleccionar las especies más adecuadas y representativas. Particularmente, los cervunales del Sistema Central son la referencia para este estudio. Estos se ordenan en cinco grupos: supramediterráneos, higrófilos, orófilos, fontinales y rupestres, (Rodríguez et al., 2003).

Se han considerado una serie de criterios para la selección de especies representativas de estos cervunales:

- Deben estar presentes en cervunales del área boreal y mediterránea, con el objetivo de conseguir una buena representación espacial en la Península Ibérica y de obtener el mayor número posible de puntos de presencia para las fases de entrenamiento y comprobación de los modelos.

- Deben estar presentes en los cervunales del Sistema Central y, preferentemente, en los que se encuentran en la provincia de Cáceres.

- Las especies seleccionadas deben ser indicadoras de los cervunales de alta montaña.

Teniendo en cuenta estos criterios, las especies más adecuadas para el estudio han sido *Nardus stricta*, *Campanula herminii*, *Gentiana pneumonanthe* y *Crocus carpetanus*, presentes en el Sistema Central y en el resto de macizos montañosos de la Península Ibérica (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sierra Nevada, Sistema Ibérico, etc.). Para evitar que los criterios de selección sean demasiado restrictivos a áreas de alta montaña, teniendo en cuenta el carácter mediterráneo del Sistema Central, se consideró introducir la especie *Crocus carpetanus*, que es una especie que también se desarrolla en el piso supramediterráneo, favoreciendo así que los modelos tengan en cuenta la posible presencia de cervunales en cotas inferiores a 1800 m.

Desde un punto de vista fitosociológico, las especies pertenecen a las siguientes Alianzas:

- *Luzulo carpetanae*-*Pedicularietum sylvaticae* (Tüxen & Oberdorfer, 1958 corr. Izco y Ortiz, 1989).

- *Galio saxatilis*-*Nardetum strictae* (Br.-BL, P. Silva, Rozeira & Fontes, 1952).

- *Campanulo herminii*-*Festucetum ibericae* (Rivas-Martínez, 1964).

- *Poo legionensis*-*Nardetum strictae* (Rivas-Martínez, 1964 corr. Rivas-Martínez, T.E. Díaz, F. Prieto, Loidi & Penas, 1984).

- *Nardo strictae*-*Genistetum carpetanae* (Rivas-Martínez, 1964).

- *Campanulo herminii*-*Festucetum rivularis* (Rivas-Martínez, Fernández-González, Sánchez-Mata & Sardinero, 2000).

- *Allietum gredensis* (Rivas-Martínez, Fernández-González & Sánchez-Mata, 1986) [in Opuse. Bot. Pharm. Complutensis 2: 7. Syntypus: Holotypus: loe. Cit]

- *Allietum latiorifolii* (Rivas-Martínez, Fernández-González, Sánchez-Mata & Pizarro, 1990 [in hñera Geobot. 4: 99. Syntypus: Holotypus: op. cit., tabla 3, inv. 7])

El diseño de los modelos de distribución de especies, que posibilita caracterizar la distribución potencial de las seleccionadas, tanto en la actualidad como en diferentes proyecciones temporales (años 2030, 2050 y 2100), permite extrapolar los resultados al conjunto de los hábitats de cervunal de la Península Ibérica y del Sistema Central.

2.2. Datos de presencia de las especies seleccionadas.

El primer paso para el diseño adecuado de los modelos de distribución es obtener los datos de presencia de las especies seleccionadas (*Nardus stricta*, *Gentiana pneumonanthe*, *Campanula herminii* y *Crocus carpetanus*). Estos datos están disponibles de forma gratuita en diferentes portales web pertenecientes a proyectos vinculados con bases de datos de biodiversidad. Para este trabajo se tomaron de la web de la Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.es) y del Sistema de Información sobre Plantas de España: Anthos (www.anthos.es). Los datos de presencia que se descargaron de las fuentes de datos tuvieron que transformarse a formato de texto separado por comas, con indicación de la latitud y longitud de cada dato de presencia, por requerimientos del software Maxent.

Las coordenadas longitud (x) y latitud (y) de las observaciones, según las bases de datos consultadas, constituyen puntos de presencias con los que se relacionan las variables climáticas, explicativas del hábitat actual y futuro. La Figura 1 representa los puntos de observación de las especies en la Península Ibérica según las bases de datos consultadas.

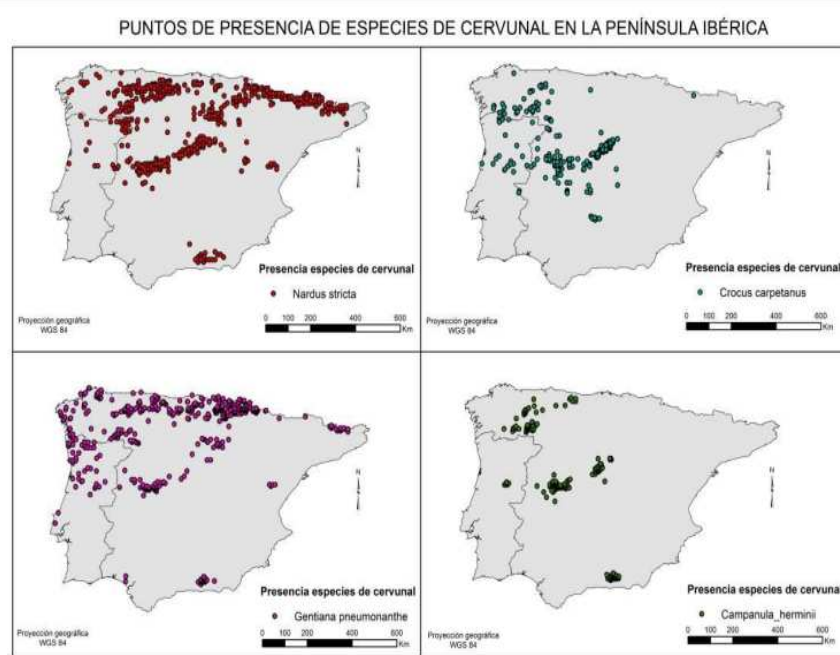


Figura 1. Localización de puntos de observación de las especies seleccionadas como indicadoras de los cervunales (*Nardus stricta*, *Crocus carpetanus*, *Gentiana pneumonanthe* y *Campanula herminii*).

2.3. Factores explicativos de la presencia de las especies: variables climáticas y altitud.

Los datos de clima que se han utilizado en el trabajo han sido obtenidos de la base de datos de WorldClim, (www.climond.org). Se trata de un conjunto de variables bioclimáticas históricas y proyectadas en escenarios climáticos futuros, disponibles para una resolución espacial de 10' o 30'. Para este estudio se han seleccionado los correspondientes a una resolución de 10'. Los datos originales, procesados por WorldClim y la Unidad de Investigación del Clima (CRU) de la Universidad de East Anglia, U.K, fueron tratados para generar las variables requeridas según las especificaciones de Maxent. El conjunto de datos originales de la serie histórica se basa en registros climáticos obtenidos entre 1961 y 1990. Algunos registros entre 1950 a 2000 fueron también utilizados para completar datos. Climond incluye 35 variables bioclimáticas básicas mensuales (temperaturas mínimas y máximas, precipitación, humedad y radiación) más 5 componentes principales que, en nuestro caso, no fueron considerados para los modelos.

Las proyecciones de cambio climático se basan en los datos de referencia empleando los métodos descritos en Kriticos et al (2012). Los modelos de proyección de datos en el futuro que incluye Climond son CSIRO-MK3.0 (CSIRO, Australia) y MIROC-H (Centre for Climate Research, Japan). Para este trabajo se ha utilizado el modelo de proyección MIROC-H. Se ha trabajado con las 35 variables disponibles de Climond que, en general, corresponden con mapas digitales de temperatura y precipitación, tratadas como medias y rangos. También hay variables que se centran en la insolación y el índice de valores de humedad, analizando para ello diferentes meses o trimestres del año.

Los principales escenarios considerados para la modelización de climas futuros son: A1. Escenario de rápido crecimiento económico; A2. Escenario de crecimiento regional; B1. Escenario de crecimiento económico global y convergente; B2. Escenario de crecimiento poblacional. Para este trabajo se ha seleccionado la familia de escenarios A2, que fue también uno de los escogidos por la AEMET (Brunet et al. 2009) para sus modelos de regionalización de las proyecciones climáticas sobre la Península Ibérica.

El escenario A2 se caracteriza por describir un mundo heterogéneo, cuyas características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo que acarrea un aumento continuo de población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente

regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios (http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/008.htm).

La Figura 2 representa, a modo de ejemplo, los mapas correspondientes a la variable bioclimática Bio01 (temperatura media anual), para la serie histórica y su proyección temporal a los tres periodos considerados en el trabajo (2030, 2050 y 2100) según el modelo MIROC-H, escenario A2.

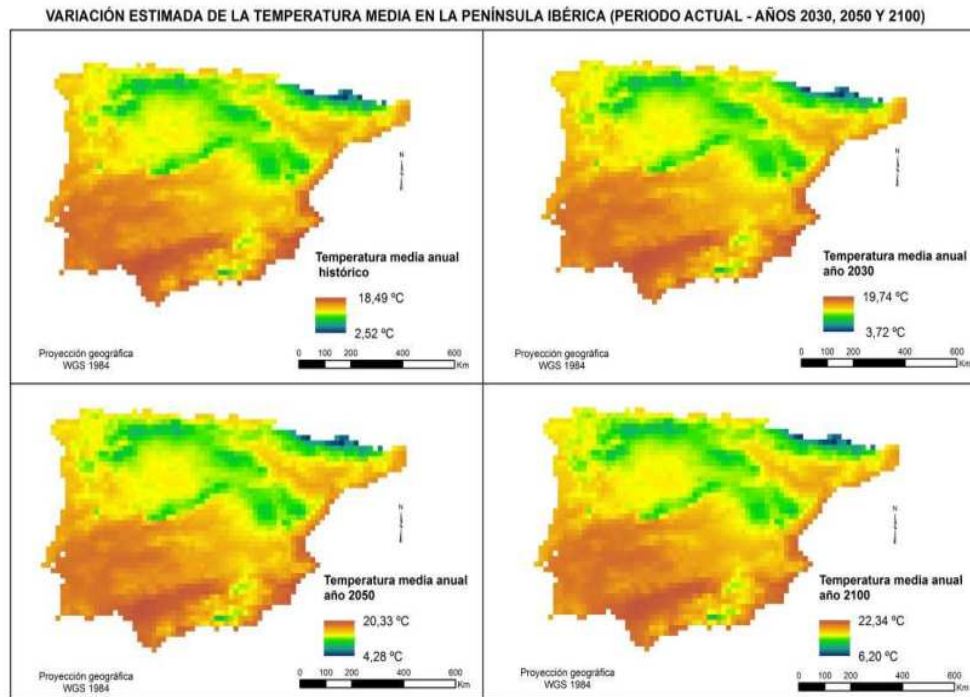


Figura 2. Temperatura media anual de la serie histórica 1961-1990 y su proyección según el modelo MIROC-H, escenario A2 para 2030, 2050 y 2100.

La topografía y el relieve del territorio constituyen variables fundamentales para el estudio de taxones botánicos de montaña. Por ello, se generó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la Península Ibérica, que se ha empleado en la generación de los modelos de distribución de especies. Dicho MDE se basa en los datos de cotas de altitud del proyecto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, <http://srtm.csi.cgiar.org/>). El SRTM consiste en un sistema de radar modificado que viajó a bordo del transbordador espacial Endeavour, en la misión STS-99 durante el año 2000. Las celdas tienen una resolución espacial de 3 segundos de arco. El MDE se transformó a formato ASCII, con las mismas dimensiones y tamaño de píxel que las variables climáticas consideradas en el modelo.

2.4. Software y análisis de datos

Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de los paquetes de software ArcGis versión 10.3 y MaxEnt versión 3.3.2.

2.4.1. Maxent.

El algoritmo que se ha seleccionado para la elaboración de los modelos de distribución potencial de especies es Maxent (MaximumEntropy), desarrollado por Phillips et al (2004) e implementado en el software Maxent 3.3.2. Este método ha demostrado ser más robusto que otros algoritmos como Bioclim o Domain (Varela et al., 2014) y permite caracterizar las

distribuciones de probabilidad cuando solamente se dispone de información de presencias. Se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida, o deducida, a partir de las condiciones ambientales donde ha sido observada, evitando hacer suposiciones que no estén avaladas por los datos. El algoritmo consiste en encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, la más cercana a la distribución uniforme, condicionada por las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de la especie y las condiciones ambientales del área de estudio.

Las principales ventajas de Maxent son: Sólo necesita datos de presencia y variables ambientales del área analizada; los datos ambientales pueden ser continuos y categóricos, trabajando con frecuencias de aparición; el resultado que se obtiene es continuo; presenta un comportamiento determinista y repetible; permite la interpretación en dimensiones ecológicas a través de curvas de respuesta, es rápido y fiable.

Entre las desventajas a tener en cuenta, destacan: El método estadístico utilizado no está tan maduro como el que pueden tener otras aplicaciones; a veces se producen sobreajustes en comparación con otros algoritmos; los modelos son vulnerables a los sesgos que puedan tener los datos de presencia.

Se realizaron modelos de distribución de especies usando los datos climáticos de la serie histórica de referencia y de la altitud para cada uno de los taxones de cervunal seleccionados como variables predictoras, así como las correspondientes a las proyecciones climáticas para los años 2030, 2050 y 2100.

Para la fase de entrenamiento del modelo se seleccionaron al azar el 70% de los puntos de presencia y el 30% para la validación de los resultados. A partir de estos datos se generaron las estadísticas asociadas a los modelos (gráficos, tablas y test estadísticos).

2.4.2. Comprobación (validación) de los modelos.

El software empleado proporciona los datos y test estadísticos necesarios para la validación de los resultados. El valor AUC (*Area Under a Receiver Operating Characteristic Curve*) indica la capacidad de predicción del modelo, y fue utilizado para estimar la fiabilidad de los mismos. Este valor se puede interpretar como la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar esté situado en una celda de ráster cuya probabilidad de presencia sea mayor que la de ausencia, (Santillán, 2013). El valor AUC puede variar entre 0,5 y 1, de manera que el valor máximo implica la mayor capacidad predictiva del modelo. Un valor AUC de 0,5 indica que el modelo que se ha generado no es mejor que lo esperado al azar. Se establece que un modelo es de baja precisión si el valor AUC está comprendido entre 0,5 y 0,7. Por el contrario, el modelo es de elevada precisión si el valor AUC es mayor de 0,7.

Para complementar la evaluación o validación de la bondad de los modelos, se han calculado once test binomiales, que permiten calcular la significación estadística de la clasificación final realizada (presencias potenciales/ausencias potenciales) sobre el valor continuo de probabilidad generado por Maxent. Los test son: valor fijo acumulado 1, valor fijo acumulado 5, valor fijo acumulado 10, mínimo de presencia de entrenamiento, 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 comprobación, valor máximo de la sensibilidad más la especificidad de comprobación, 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). Estos test binomiales deben tener un valor de $p < 0,001$. En todos los modelos generados para los taxones seleccionados el valor p es inferior a 0,01.

Para el diseño de mapas binomiales (presencia potencial/ausencia potencial), es preciso seleccionar, de entre los anteriores, un test binomial que proporcione el valor límite o umbral de probabilidad a la salida del modelo (Norris, 2014), de forma que los píxeles que tienen un valor igual o superior a dicho umbral se consideran idóneos para la presencia de la especie objeto de

estudio, mientras que los valores por debajo de dicho umbral, son considerados inadecuados para que la especie ocupe dichas celdas de ráster. El límite seleccionado para el diseño de los mapas binomiales ha sido el mínimo de presencia de entrenamiento (*minimum training presence*), para todas las especies, excepto para *Gentiana pneumonanthe*, ya que se considera como el umbral mínimo necesario para que la especie esté presente. Dicho de otra forma, los píxeles que presentan un valor igual o superior al proporcionado por el umbral mínimo de presencia de entrenamiento poseen las condiciones mínimas idóneas para que pueda presentarse la especie.

No obstante, además de mapas de presencia/ausencia basados en el valor umbral proporcionado por el *minimum training presence test*, también se han generado mapas binomiales que indican las áreas en las que se maximiza la idoneidad del territorio a la aparición de las especies. Se trata de identificar aquellas áreas que los 11 test binomiales coinciden en identificar como adecuadas a la presencia de las mismas, por contraposición a las zonas que uno o más de los test identifican como no adecuadas. Se definen así “zonas núcleo” o de máxima idoneidad para la especie en cuestión. De esa forma, se pueden identificar las áreas de la Península Ibérica que poseen las condiciones más idóneas para el desarrollo de las especies de cervunal indicadas.

3. RESULTADOS

Para las especies de cervunal estudiadas, el AUC obtenido en los modelos generados por Maxent ha sido superior a 0,80 (Tabla 1), resultando modelos con buena capacidad predictora.

Tabla 1. Valores AUC de los modelos diseñados para especies de cervunal

Especie	Valor AUC	Precisión
<i>Nardus stricta</i>	0,835	Alta
<i>Crocus carpetanus</i>	0,893	Alta
<i>Campanula herminii</i>	0,950	Alta
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	0,869	Alta

3.1. Modelos de distribución potencial según las características climáticas históricas.

Los modelos de distribución potencial generados con el algoritmo Maxent, muestran que las especies de cervunal seleccionadas poseen áreas de ocupación idónea que se ubican en las principales cordilleras y macizos montañosos de la Península Ibérica y en sus proximidades. Las especies más generalistas, no tan dependientes de la altitud, como *Crocus carpetanus*, amplían su rango de distribución adecuada a altitudes comprendidas entre 500 y más de 2000 metros. Los resultados de los modelos de potencialidad coinciden con la distribución observable actual de la especie. Las cuatro especies seleccionadas, aunque con diferente abundancia, se distribuirían en las principales cordilleras del norte de la Península Ibérica: Pirineos, Cordillera Cantábrica, Montes de León, Sistema Ibérico. También se observan en macizos centrales, como el Sistema Central, encontrando su límite meridional en Sierra Nevada. *Campanula herminii* y *Crocus carpetanus* poseen menor representación en Pirineos. La primera constituye un endemismo ibérico que abunda, sobre todo, en el Sistema Central.

Las variables bioclimáticas que más aportan a la identificación de áreas idóneas fueron diferentes para cada taxón (Tabla 2), estando en general más relacionadas con las características térmicas. Las variables bioclimáticas que más contribuyen al modelo de distribución potencial de *Nardus stricta* son Bio 1 (temperatura media anual) y Bio 10 (temperatura media del trimestre más seco). Para el caso de *Crocus carpetanus* fue la variable Bio 8 (temperatura media del trimestre más húmedo) y la variable Bio 15 (precipitación estacional). El modelo de distribución idónea para *Campanula herminii* se explica, fundamentalmente, por el comportamiento de Bio 8 y Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío). Por último, las

variables Bio 10 y Bio 28 (índice de humedad media anual) contribuyen de forma decisiva al modelo de distribución de *Gentiana pneumonanthe*. La variable que representa la altitud, modelo digital de elevaciones (MDE) de la Península Ibérica, tiene una contribución muy discreta en los modelos de distribución. Así, los modelos a los que más contribuye son los de *Crocus carpetanus* (8%), *Campanula herminii* (5,6%) y *Gentiana pneumonanthe* (3,6%). En el caso de *Nardus stricta* no llega al 1%, teniendo poca relevancia para la explicación del hábitat potencial de esta especie.

Tabla 2. Contribución de las dos variables más relevantes en la construcción de los modelos de distribución potencial de las especies de cervunal seleccionadas en el estudio.

ESPECIE	VARIABLES	CONTRIBUCIÓN (%)
<i>Nardus stricta</i>	Bio 1 (temperatura media anual)	42,7
	Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido)	18,2
<i>Crocus carpetanus</i>	Bio 8 (temperatura media del trimestre más húmedo)	29,9
	Bio 15 (precipitación estacional)	16,4
<i>Campanula herminii</i>	Bio 8 (temperatura media del trimestre más húmedo)	59,6
	Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío)	9,1
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido)	36,2
	Bio 28 (índice de humedad media anual)	17

La Figura 3 representa, como caso de ejemplo, la variación de la probabilidad de presencia de *Nardus stricta* conforme se incrementa la temperatura media anual (bio1) y temperatura media del trimestre más cálido (bio10). Como se puede apreciar, la probabilidad desciende más o menos gradualmente conforme se incrementa la temperatura media, si bien existe un umbral marcado por la temperatura media del trimestre más cálido que se sitúa en unos 20°C.

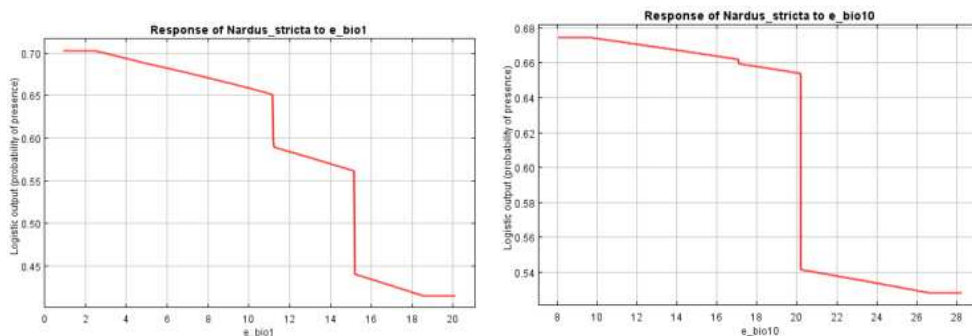


Figura 3. Variables Bio 1 (temperatura media anual) y Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido) que contribuyen en mayor medida a explicar la distribución potencial de *Nardus stricta*.

3.2. Distribuciones potenciales de las especies de cervunal proyectadas para los años 2030, 2050 y 2100.

Para las especies *Nardus stricta*, *Crocus carpetanus*, *Campanula herminii* y *Gentiana pneumonanthe* se diseñaron modelos de distribución potencial para los años 2030, 2050 y 2100 según el escenario climático A2 y con las especificaciones descritas en el apartado de metodología (Figuras 4 a 7). Los umbrales de valor de probabilidad, según Maxent, seleccionados para llevar a cabo los modelos de distribución han sido, para todos los casos, el *mínimo de la presencia de entrenamiento* (minimum training presence), ya que se ajusta muy bien a la distribución potencial actual. Para la especie *Gentiana pneumonanthe*, sin embargo, se seleccionó el *valor fijo acumulativo 5* (fixed cumulative value 5), ya que es el umbral que mejor representa a la distribución potencial actual.

Para las cuatro especies, los modelos generados para los años 2030, 2050 y 2100 indican una reducción de su hábitat potencial en la Península Ibérica, en ocasiones drásticas. *Crocus carpetanus*, sin embargo, constituye una excepción ya que, aunque su distribución manifestaría una reducción desde la época actual hasta el año 2030, parece que a partir de esas fechas el área idónea incrementaría, incluso superando el área de distribución potencial actual. La explicación más lógica es que, como se observa en los modelos actuales, se trata de una especie ubiquista, que se distribuye en un amplio rango de altitudes. Cabe esperar que en el futuro desaparezca de las cotas más elevadas de las montañas, donde en la actualidad puede observarse, ampliando su distribución a otros espacios con condiciones idóneas para su desarrollo, que se cumplirían en cotas más bajas.

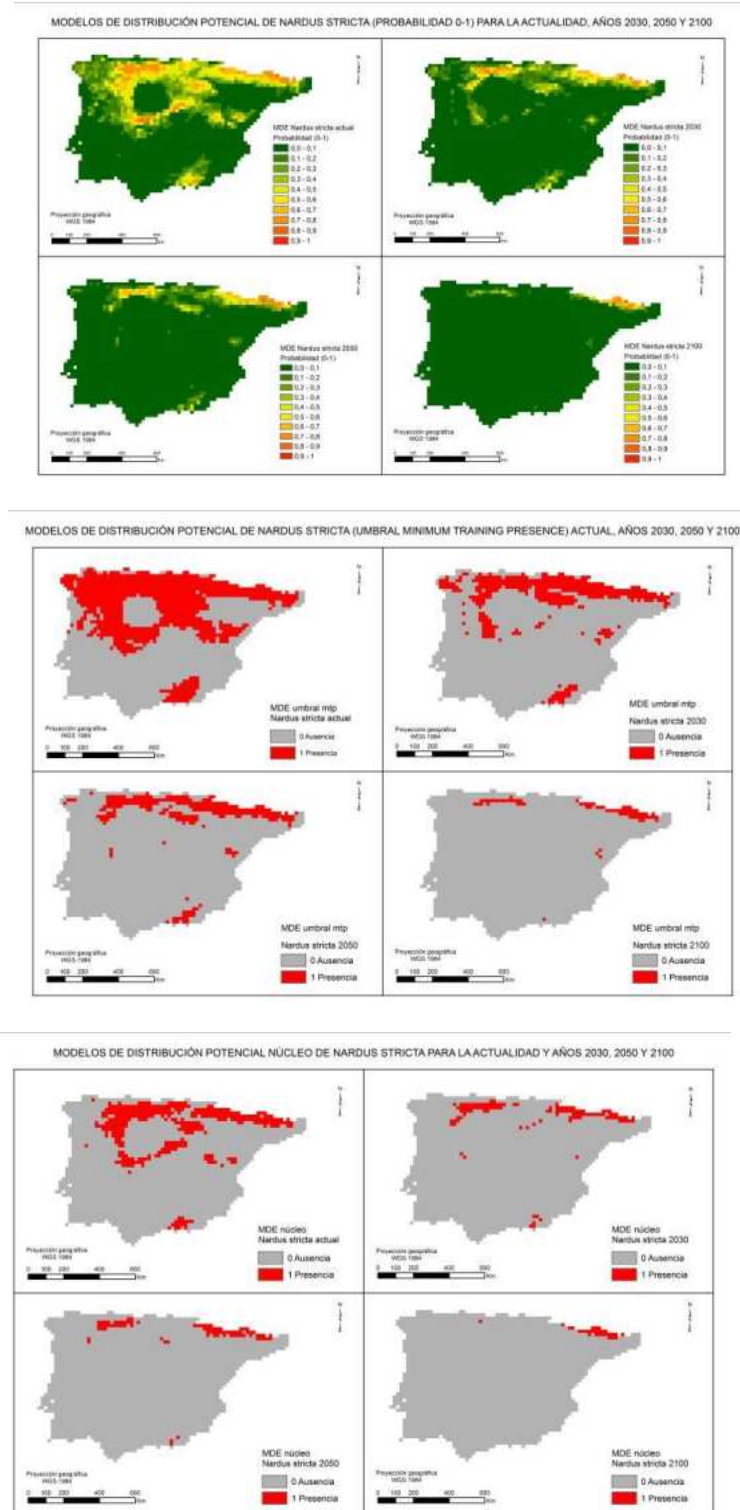


Figura 4. Modelos de distribución potencial para *Nardus stricta*: A, modelo de probabilidad general de Maxent; B, modelo de distribución potencial que binariza los valores de probabilidad empleando el umbral *mínimum training presence*; C, modelo de distribución potencial que binariza la probabilidad considerando las áreas que todos los umbrales coinciden en identificar como potenciales presencias. En cada modelo se representa la distribución potencial en base a los datos climáticos de la serie histórica y los proyectados a 2030, 2050 y 2100.

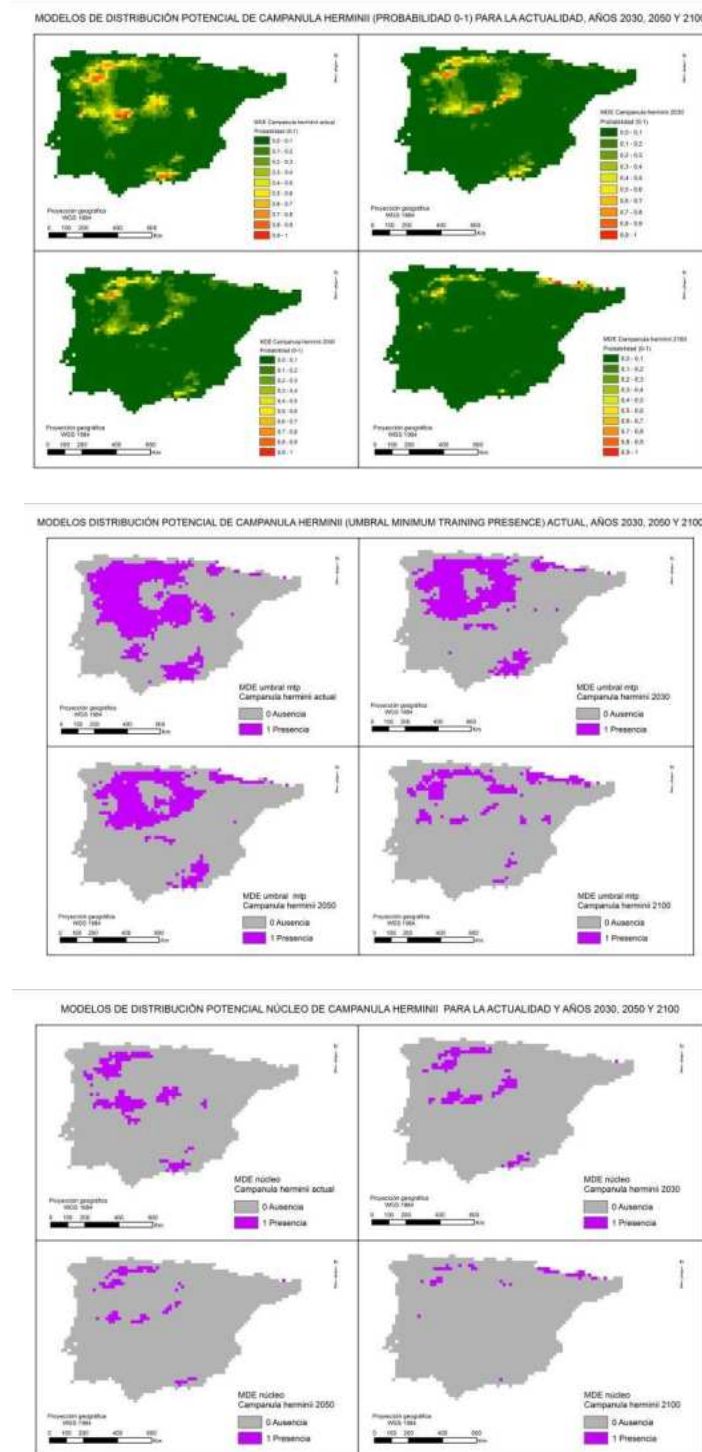


Figura 5. Modelos de distribución potencial para *Campanula herminii*: A, modelo de probabilidad general de Maxent; B, modelo de distribución potencial que binariza los valores de probabilidad empleando el umbral *mínimum training presence*; C, modelo de distribución potencial que binariza la probabilidad considerando las áreas que todos los umbrales coinciden en identificar como potenciales presencias. En cada modelo se representa la distribución potencial en base a los datos climáticos de la serie histórica y los proyectados a 2030, 2050 y 2100.

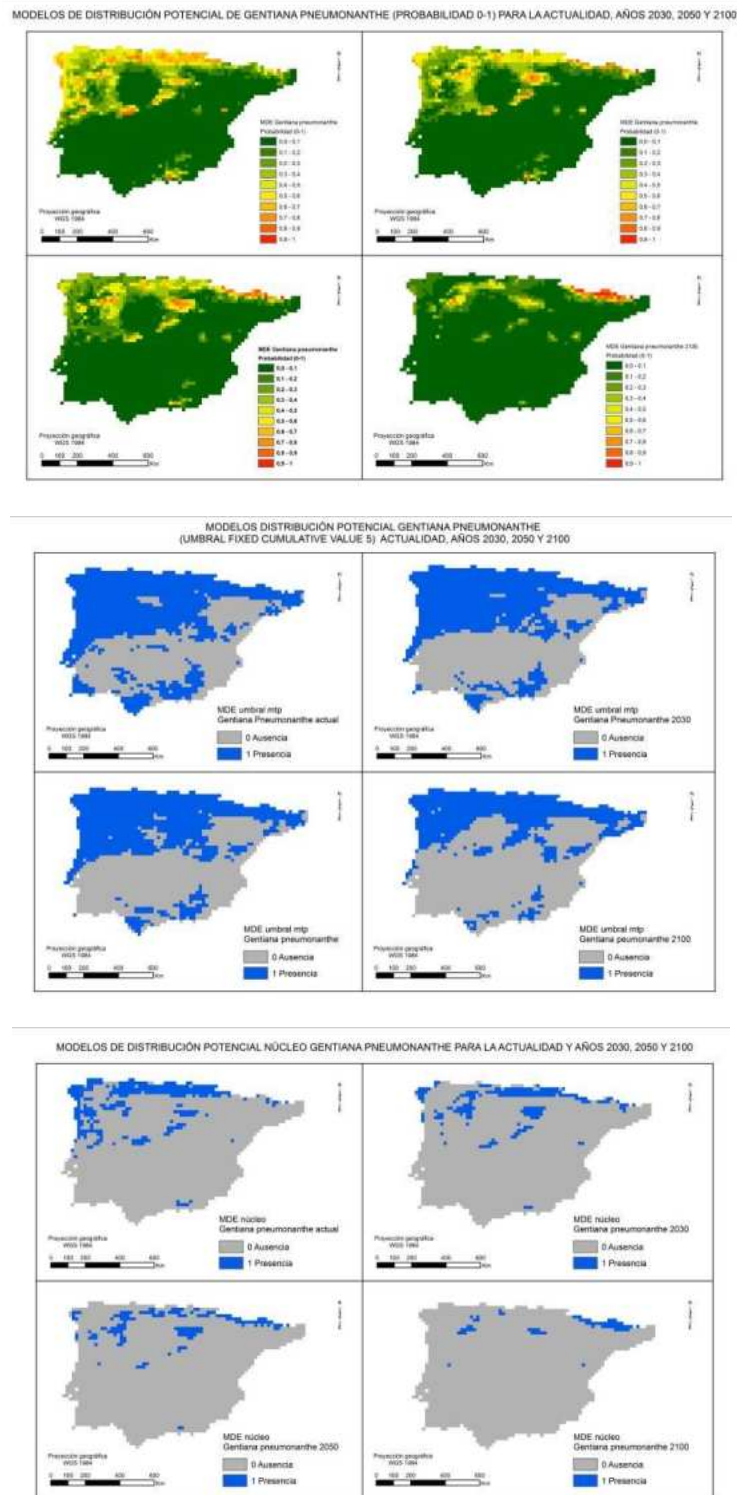


Figura 6. Modelos de distribución potencial para *Gentiana pneumonanthe*: A, modelo de probabilidad general de Maxent; B, modelo de distribución potencial que binariza los valores de probabilidad empleando el umbral *mínimum training presence*; C, modelo de distribución potencial que binariza la probabilidad considerando las áreas que todos los umbrales coinciden en identificar como potenciales presencias. En cada modelo se representa la distribución potencial en base a los datos climáticos de la serie histórica y los proyectados a 2030, 2050 y 2100.

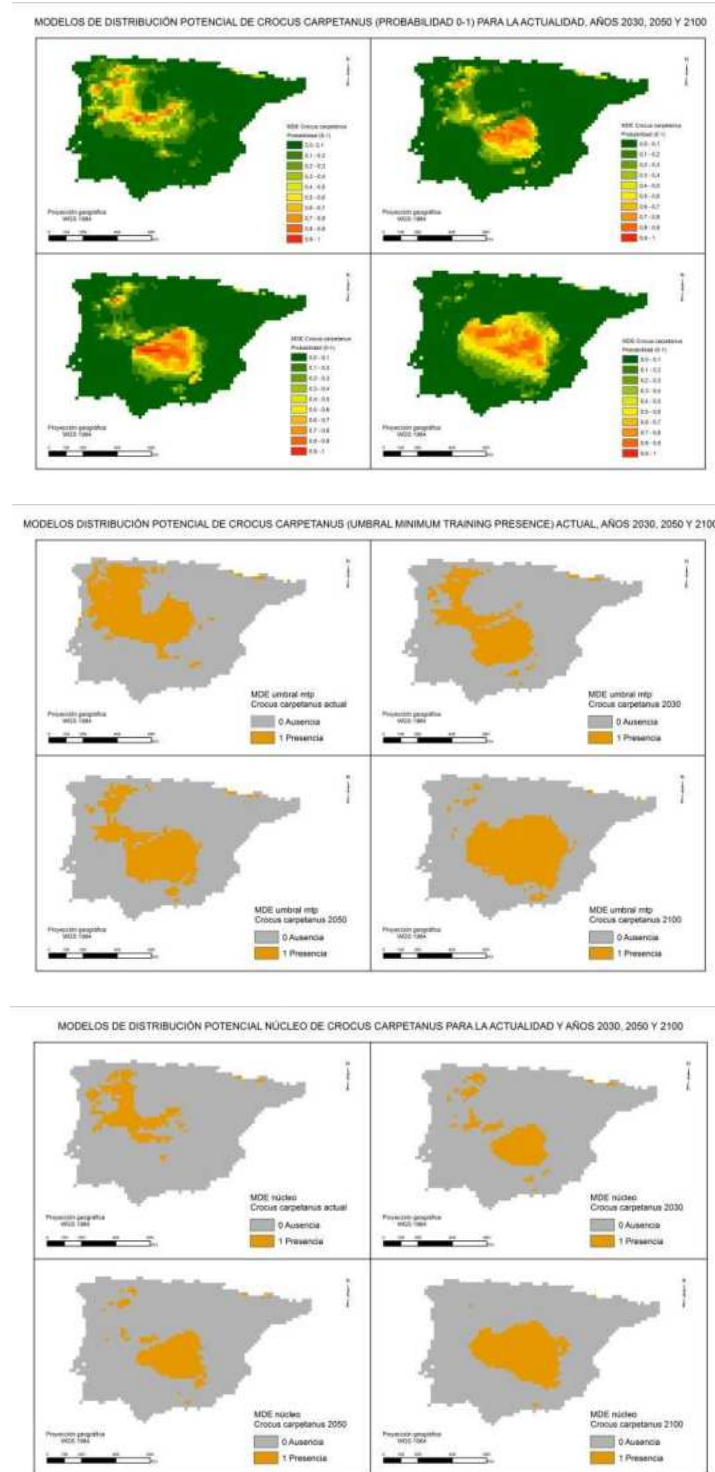


Figura 7. Modelos de distribución potencial para *Crocus carpetanus*: A, modelo de probabilidad general de Maxent; B, modelo de distribución potencial que binariza los valores de probabilidad empleando el umbral *mínimum training presence*; C, modelo de distribución potencial que binariza la probabilidad considerando las áreas que todos los umbrales coinciden en identificar como potenciales presencias. En cada modelo se representa la distribución potencial en base a los datos climáticos de la serie histórica y los proyectados a 2030, 2050 y 2100.

La Tabla 3 refleja los cambios que, en términos de área potencial, sufrirían los mapas de distribución futura frente a los actuales. Se trata de cálculos de los cambios de superficies potencialmente idóneas para las diferentes especies y en las distintas fechas, basadas en los mapas binomiales (área idónea/área no idónea) generados por Maxent según el valor umbral descrito con anterioridad

Tabla 3. Distribución actual y futura expresada como número de píxeles y superficie (hectáreas) de las especies *Nardus stricta*, *Crocus carpetanus*, *Campanula herminii* y *Gentiana pneumonanthe*. Los umbrales seleccionados para la binarización de los valores de probabilidad han sido el valor mínimo de presencia de entrenamiento (mtp) para las tres primeras especies y el valor acumulativo fijo 5 (fcv5) para *Gentiana pneumonanthe*.

ESPECIE	VALOR UMBRAL		DISTRIBUCIÓN POTENCIAL		DISTRIBUCIÓN POTENCIAL FUTURA					
					Año 2030		Año 2050		Año 2100	
			Píxeles	Superficie (Has.)	Píxeles	Superf. (Has.)	Píxeles	Superf. (Has.)	Píxeles	Superf. (Has.)
<i>Nardus stricta</i>	MTP	0,114	897	28.133,8	422	13.235,7	268	8405,6	71	2.226,8
<i>Crocus carpetanus</i>	MTP	0,135	573	17.971,8	440	13.800,3	481	15.086,2	582	18.254,6
<i>Campanula herminii</i>	MTP	0,055	724	27.707,8	539	16.905,4	489	15.337,1	235	7.370,6
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	FCV 5	0,121	744	23.335,1	659	20.669,1	611	19.163,6	317	9.942,5

3.3. Matrices de transición de los valores de idoneidad potencial actual y futuros.

El análisis de los cambios en los mapas-modelo de idoneidad de cada especie se ha realizado calculando las áreas potenciales actuales y observando su dinámica en el tiempo (2030, 2050 y 2100), en términos de transformación (transiciones) en superficies con valores de idoneidad diferentes a los actuales. Para ello, previamente se reclasificaron los valores continuos de probabilidad generados por el algoritmo Maxent en diez clases de probabilidad, siendo 1 el más bajo y 10 el más alto. Se han calculado así las transiciones, para las diferentes clases (1 a 10). Se pueden así inferir conclusiones sobre la probable dinámica y evolución de las especies en el tiempo, indicando la superficie transformada entre grados de idoneidad.

La tendencia generalizada de las especies de cervunal incluidas en este trabajo es hacia la reducción drástica de la superficie idónea para su desarrollo para los años 2030, 2050 y 2100. Algunas especies, según los modelos elaborados, verán cómo el área idónea para que puedan desarrollarse, prácticamente desaparece de la Península Ibérica, quedando restringidas a algunos macizos montañosos del norte.

3.4.1 Dinámica temporal de la potencialidad del hábitat climático para *Nardus stricta*.

Las matrices de transición diseñadas para *Nardus stricta*, que relacionan la época actual con los años 2030, 2050 y 2100 proyectados en modelos de distribución de especies, arroja una clara tendencia a la reducción de áreas idóneas para la especie. En la actualidad cuenta con importantes áreas idóneas en las montañas del norte de la Península Ibérica, Pirineos, cordillera Cantábrica y Montes de León; en la zona centro, en el Sistema Central; y en la zona sur, en Sierra Nevada.

Para el año 2030 la reducción en las áreas idóneas del centro de la Península Ibérica será evidente y drástica. Prácticamente desaparece la totalidad de las áreas idóneas en el sistema central en apenas 15 años. La matriz de transición que combina la época actual con el año 2030 (Tabla 4), confirma la pérdida de grados de idoneidad para esta fecha.

La tendencia para el año 2050 es que *Nardus stricta* pierde las áreas de probabilidad de desarrollo relictas del Sistema Central, así como se observa la tendencia a la disminución de la especie en la cordillera Cantábrica, tendencia que continuará en el futuro.

Para el año 2100, según el modelo diseñado, sólo existirán áreas de desarrollo potencial de la especie en Pirineos y una pequeña franja en la cordillera Cantábrica, si bien con índices de probabilidad modestos.

Las matrices de transición confirman la enorme pérdida de áreas idóneas para *Nardus stricta* en todas las combinaciones realizadas.

Tabla 4. Matrices de transición de la superficie potencialmente habitable por *Nardus stricta* con diferentes valores de idoneidad (1-10) entre la época actual y las proyecciones futuro. Los cambios de superficie se expresan en Km². A, proyección a 2030; B, proyección a 2050; C, proyección a 2100.

A) A2/2030										
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
1	329.639,95	1.254,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	330.894,53
2	52.378,56	6.900,17	1.881,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61.160,60
3	31.991,70	13.800,34	4.077,37	0,00	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	50.183,06
4	16.936,78	11.918,48	4.704,66	627,29	1.568,22	940,93	0,00	0,00	0,00	36.696,36
5	11.918,48	10.350,26	7.841,10	3.763,73	313,64	627,29	0,00	0,00	0,00	34.814,50
6	6.272,88	4.391,02	3.450,09	4.077,37	4.704,66	313,64	627,29	0,00	0,00	23.836,95
7	2.822,80	1.254,58	1.254,58	3.450,09	3.136,44	3.763,73	2.822,80	0,00	0,00	18.505,00
8	1.568,22	1.254,58	313,64	313,64	1.568,22	2.195,51	3.450,09	3.450,09	313,64	14.427,63
9	313,64	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	0,00	940,93
Total	453.843,01	51.437,63	23.523,31	12.232,12	11.604,83	7.841,10	6.900,17	3.763,73	313,64	571.459,55
B) A2/2050										
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
1	330.580,88	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	330.895,53
2	58.965,09	1.881,86	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61.162,60
3	44.851,11	4.704,66	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50.186,06
4	27.600,68	5.645,59	2.509,15	313,64	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	36.700,36
5	16.309,49	11.918,48	4.391,02	1.254,58	940,93	0,00	0,00	0,00	0,00	34.819,50
6	10.036,61	2.509,15	6.272,88	2.509,15	1.254,58	627,29	627,29	0,00	0,00	23.842,95
7	4.391,02	2.195,51	2.509,15	2.509,15	1.568,22	2.822,80	1.881,86	627,29	0,00	18.512,00
8	2.822,80	940,93	313,64	940,93	2.195,51	1.254,58	2.509,15	3.136,44	313,64	14.435,63
9	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	0,00	949,93
Total	496.184,97	30.109,83	16.936,78	7.527,46	6.586,53	4.704,66	5.018,31	4.077,37	313,64	571.504,55
C) A2/2100										
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
1	330.894,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	330.894,53
2	61.160,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61.160,60
3	50.183,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50.183,06
4	35.755,43	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	627,29	0,00	36.696,36
5	32.932,63	1.881,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34.814,50
6	20.700,51	2.195,51	627,29	0,00	0,00	313,64	0,00	0,00	0,00	23.836,95
7	10.036,61	3.450,09	1.254,58	940,93	313,64	627,29	1.568,22	313,64	0,00	18.505,00
8	6.900,17	1.254,58	1.881,86	940,93	313,64	0,00	1.568,22	1.254,58	313,64	14.427,63
9	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	940,93
Total	549.190,82	9.095,68	3.763,73	1.881,86	627,29	940,93	3.136,44	2.195,51	627,29	571.459,55

3.4.2. Dinámica temporal de la potencialidad de hábitat climático para *Campanula herminii*.

Las áreas de distribución potencial actual más destacables para *Campanula herminii* se dan en el Sistema Central, Cordillera Cantábrica y Sierra Nevada.

La probable dinámica temporal para esta especie indica que *Campanula herminii* tendrá una acusada reducción de las áreas óptimas para su desarrollo en las próximas décadas, según los modelos diseñados. Las matrices de transición confirman lo observado en los mapas actuales y proyectados. Las áreas idóneas actuales, ubicadas en el Sistema Central y sector oeste de la Cordillera Cantábrica, se verán reducidas para 2030, cuando todavía habrá una representación destacable. La reducción más drástica se produciría hacia el año 2050, cuando los mayores valores de idoneidad desaparecen de sus principales zonas de distribución. Para el año 2100, la especie desaparecería del Sistema Central y podría considerarse relictas de la Cordillera Cantábrica y Sierra Nevada.

La matriz de transición a futuro (Tabla 5) constata de forma numérica estos análisis, observando cómo las áreas de mayor idoneidad van perdiendo superficie con el tiempo.

Tabla 5. Matrices de transición de la superficie habitable por *Campanula herminii* con diferentes valores de idoneidad (1-10) entre la época actual y las proyecciones a futuro. Los cambios de superficie se expresan en Km². A, proyección a 2030; B, proyección a 2050; C, proyección a 2100.

A) A2/2030											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	
1	425.301,40	8.468,39	4.704,66	940,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	439.415,38	
2	38.264,58	16.936,78	1.881,86	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57.710,51	
3	9.095,68	12.545,76	2.822,80	1.254,58	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	26.346,10	
4	5.331,95	3.763,73	5.331,95	2.509,15	940,93	313,64	0,00	0,00	0,00	18.191,36	
5	313,64	627,29	4.391,02	3.136,44	627,29	1.254,58	940,93	313,64	0,00	11.604,83	
6	0,00	627,29	627,29	1.254,58	2.509,15	627,29	627,29	0,00	0,00	6.272,88	
7	0,00	627,29	313,64	627,29	627,29	1.568,22	940,93	0,00	313,64	5.018,31	
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	1.881,86	627,29	0,00	2.822,80	
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	627,29	1.254,58	1.254,58	3.450,09	
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	0,00	313,64	627,29	
Total	478.307,25	43.596,53	20.073,22	10.350,26	5.331,95	4.391,02	5.331,95	2.195,51	1.881,86	571.459,55	
B) A2/2050											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	
1	425.615,04	10.036,61	3.136,44	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	439.415,38	
2	42.969,24	13.486,70	1.254,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57.710,51	
3	13.800,34	7.841,10	3.763,73	627,29	0,00	313,64	0,00	0,00	0,00	26.346,10	
4	6.900,17	6.272,88	4.077,37	627,29	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	18.191,36	
5	940,93	2.509,15	5.018,31	1.254,58	1.568,22	313,64	0,00	0,00	0,00	11.604,83	
6	627,29	1.254,58	1.568,22	1.254,58	1.568,22	0,00	0,00	0,00	0,00	6.272,88	
7	940,93	313,64	627,29	940,93	627,29	627,29	940,93	0,00	0,00	5.018,31	
8	0,00	0,00	0,00	313,64	0,00	1.568,22	940,93	0,00	0,00	2.822,80	
9	0,00	0,00	0,00	313,64	627,29	313,64	1.254,58	627,29	313,64	3.450,09	
10	0,00	0,00	0,00	313,64	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	627,29	
Total	491.793,95	41.714,67	19.445,93	6.272,88	5.018,31	3.136,44	3.136,44	627,29	313,64	571.459,55	
C) A2/2100											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	426.242,33	7.213,81	2.195,51	1.568,22	313,64	627,29	0,00	627,29	313,64	313,64	439.415,38
2	54.574,07	1.568,22	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	627,29	627,29	0,00	57.710,51
3	25.091,53	0,00	940,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	26.346,10

4	14.427,63	2.822,80	627,29	0,00	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.191,36
5	7.841,10	2.822,80	627,29	0,00	0,00	313,64	0,00	0,00	0,00	0,00	11.604,83
6	3.136,44	1.254,58	1.881,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.272,88
7	2.509,15	313,64	627,29	627,29	313,64	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	5.018,31
8	313,64	0,00	940,93	313,64	0,00	627,29	627,29	0,00	0,00	0,00	2.822,80
9	0,00	1.254,58	0,00	313,64	627,29	940,93	0,00	313,64	0,00	0,00	3.450,09
10	0,00	0,00	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	627,29
Total	534.135,90	17.250,43	8.782,03	2.822,80	1.568,22	3.136,44	627,29	1.568,22	940,93	627,29	571.459,55

3.4.3. Dinámica temporal de la potencialidad del hábitat climático para *Gentiana pneumonanthe*.

Las áreas más idóneas para *Gentiana pneumonanthe*, según los modelos, se ubicarían en las cordilleras del norte, Pirineos y Cordillera Cantábrica, así como en los Montes de León y Sierra Nevada.

Para el año 2030, estas áreas idóneas sufren una disminución notable, aunque se mantienen todavía algunas con un alto grado de idoneidad. Para el año 2050, la tendencia a la baja de las superficies más idóneas se incrementa, resintiéndose en el Sistema Central. Sin embargo, para el año 2100, las áreas idóneas para el desarrollo de la especie se reducirían hasta tal punto que no aparecen lugares con altos valores de idoneidad en el Sistema Central, ni en Sierra Nevada, siendo estos reducidos en la Cordillera Cantábrica y permaneciendo sólo Pirineos como área potencialmente idónea para la proliferación de la especie.

Las matrices de transición elaboradas ponen de manifiesto estos resultados (Tabla 6).

Tabla 6. Matrices de transición de la superficie potencialmente habitable por *Gentiana pneumonanthe* con diferentes valores de idoneidad (1-10) entre la época actual y las proyecciones a futuro. Los cambios de superficie se expresan en Km². A, proyección a 2030; B, proyección a 2050; C, proyección a 2100.

A) A2/2030											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	363827,2	6272,9	627,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	370727,3
2	18505,0	16309,5	3136,4	1254,6	627,3	0,0	0,0	1568,2	0,0	0,0	41401,0
3	4704,7	15995,9	11918,5	3763,7	940,9	627,3	0,0	1254,6	0,0	0,0	39205,5
4	1881,9	8154,8	15995,9	7841,1	2195,5	313,6	940,9	313,6	313,6	0,0	37950,9
5	0,0	3763,7	9095,7	9095,7	2509,2	627,3	940,9	313,6	0,0	0,0	26346,1
6	0,0	627,3	2822,8	8468,4	9723,0	2822,8	1881,9	313,6	0,0	0,0	26659,8
7	0,0	0,0	940,9	1881,9	5645,6	8782,0	1254,6	940,9	313,6	0,0	19759,6
8	0,0	0,0	0,0	0,0	313,6	2822,8	2509,2	1254,6	313,6	0,0	7213,8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	627,3	940,9	313,6	313,6	2195,5
Total	388918,7	51124,0	44537,5	32305,3	21955,1	15995,9	8154,8	6900,2	1254,6	313,6	571459,6
B) A2/2050											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	362886,2	5645,6	1881,9	0,0	0,0	0,0	313,6	0,0	0,0	0,0	370727,3
2	21327,8	13173,1	2195,5	1568,2	940,9	313,6	313,6	627,3	940,9	0,0	41401,0
3	10663,9	13800,3	8468,4	2822,8	1568,2	0,0	313,6	940,9	627,3	0,0	39205,5
4	7213,8	13486,7	8154,8	5018,3	1881,9	940,9	313,6	627,3	313,6	0,0	37950,9
5	1568,2	5018,3	8468,4	7213,8	940,9	313,6	1881,9	940,9	0,0	0,0	26346,1
6	313,6	4077,4	6586,5	8782,0	5332,0	313,6	627,3	313,6	313,6	0,0	26659,8
7	0,0	627,3	1881,9	4391,0	7213,8	4077,4	940,9	627,3	0,0	0,0	19759,6
8	0,0	0,0	313,6	627,3	1254,6	2195,5	1568,2	627,3	627,3	0,0	7213,8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	627,3	940,9	313,6	0,0	313,6	2195,5
Total	403973,6	55828,7	37950,9	30423,5	19132,3	8782,0	7213,8	5018,3	2822,8	313,6	571459,6
C) A2/2100											

Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	364768,1	2195,5	3136,4	627,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	370727,3
2	31364,4	4704,7	2195,5	313,6	0,0	0,0	627,3	313,6	313,6	1568,2	41401,0
3	26032,5	5959,2	2822,8	940,9	627,3	313,6	313,6	313,6	1568,2	313,6	39205,5
4	25091,5	5959,2	2509,2	2509,2	940,9	313,6	0,0	627,3	0,0	0,0	37950,9
5	12859,4	9095,7	0,0	940,9	313,6	627,3	313,6	313,6	1881,9	0,0	26346,1
6	9723,0	10663,9	1881,9	2509,2	627,3	940,9	0,0	0,0	0,0	313,6	26659,8
7	5645,6	5332,0	4077,4	2195,5	1881,9	313,6	313,6	0,0	0,0	0,0	19759,6
8	940,9	0,0	1568,2	2195,5	1254,6	313,6	0,0	313,6	627,3	0,0	7213,8
9	0,0	0,0	940,9	313,6	313,6	313,6	0,0	0,0	0,0	313,6	2195,5
Total	476425,4	43910,2	19132,3	12545,8	5959,2	3136,4	1568,2	1881,9	4391,0	2509,2	571459,6

3.3.4. Dinámica temporal de la potencialidad de hábitat climático para *Crocus carpetanus*.

Crocus carpetanus es la única especie que, según los modelos diseñados y validados de forma satisfactoria, aumenta la superficie idónea para su desarrollo hasta el final de siglo XXI. Del análisis de los mapas-modelo, las áreas más óptimas para su desarrollo, en la actualidad, se localizan en el Sistema Central, Montes de León y parte occidental de la Cordillera Cantábrica.

Para el año 2030, la presencia de la especie en las áreas montañosas se ve reducida y fragmentada en zonas idóneas del Sistema Central y, cada vez menos, en la Cordillera Cantábrica. Un hecho observable en los mapas de idoneidad es que en la zona centro de la Península Ibérica, concretamente en las mesetas del interior, la especie va ganando espacio idóneo para su desarrollo. Esto se explica por el carácter ubiquista de *Crocus carpetanus*, que se desarrolla en un amplio rango de altitudes y condiciones ambientales. Para 2050 se confirma la tendencia descrita, alcanzando para 2100 los máximos netos de expansión de su área potencial idónea. Las matrices de transición (Tabla 7) reflejan lo descrito.

Tabla 7. Matrices de transición de la superficie potencialmente habitable por *Gentiana pneumonanthe* con diferentes valores de idoneidad (1-10) entre la época actual y las proyecciones a futuro. Los cambios de superficie se expresan en Km². A proyección a 2030; B, proyección a 2050; C, proyección a 2100.

A) A2/2030											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	363.827,16	6.272,88	627,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	370.727,3
2	18.505,00	16.309,49	3.136,44	1.254,58	627,29	0,00	0,00	1.568,22	0,00	0,00	41.401,02
3	4.704,66	15.995,85	11.918,48	3.763,73	940,93	627,29	0,00	1.254,58	0,00	0,00	39.205,51
4	1.881,86	8.154,75	15.995,85	7.841,10	2.195,51	313,64	940,93	313,64	313,64	0,00	37.950,94
5	0,00	3.763,73	9.095,68	9.095,68	2.509,15	627,29	940,93	313,64	0,00	0,00	26.346,10
6	0,00	627,29	2.822,80	8.468,39	9.722,97	2.822,80	1.881,86	313,64	0,00	0,00	26.659,75
7	0,00	0,00	940,93	1.881,86	5.645,59	8.782,03	1.254,58	940,93	313,64	0,00	19.759,58
8	0,00	0,00	0,00	0,00	313,64	2.822,80	2.509,15	1.254,58	313,64	0,00	7.213,81
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	627,29	940,93	313,64	313,64	2.195,51
Total	388.918,68	51.123,99	44.537,46	32.305,34	21.955,09	15.995,08	8.154,75	6.900,17	1.254,58	313,64	571.459,55
B) A2/2050											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,55
2	3.638,27	62,73	6,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.707,27
3	185,05	163,09	31,36	12,55	6,27	0,00	0,00	15,68	0,00	0,00	414,01
4	47,05	159,96	119,18	37,64	9,41	6,27	0,00	12,55	0,00	0,00	392,06
5	18,82	81,55	159,96	78,41	21,96	3,14	9,41	3,14	3,14	0,00	379,51
6	0,00	37,64	90,96	90,96	25,09	6,27	9,41	3,14	0,00	0,00	263,46

7	0,00	6,27	28,23	84,68	97,23	28,23	18,82	3,14	0,00	0,00	266,60
8	0,00	0,00	9,41	18,82	56,46	87,82	12,55	9,41	3,14	0,00	197,60
9	0,00	0,00	0,00	0,00	3,14	28,23	25,09	12,55	3,14	0,00	72,14
Total	3.889,20	511,26	445,40	323,09	219,60	160,02	75,34	59,67	9,50	0,10	5.693,19
C) A2/2100											
Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2	36,38	0,63	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,07
3	1,85	1,63	0,31	0,13	0,06	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	4,14
4	0,47	1,60	1,19	0,38	0,09	0,06	0,00	0,13	0,00	0,00	3,92
5	0,19	0,82	1,60	0,78	0,22	0,03	0,09	0,03	0,03	0,00	3,80
6	0,00	0,38	0,91	0,91	0,25	0,06	0,09	0,03	0,00	0,00	2,63
7	0,00	0,06	0,28	0,85	0,97	0,28	0,19	0,03	0,00	0,00	2,67
8	0,00	0,00	0,09	0,19	0,56	0,88	0,13	0,09	0,03	0,00	1,98
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,25	0,13	0,03	0,00	0,72
Total	38,89	5,11	4,45	3,23	2,20	1,60	0,75	0,60	0,09	0,00	56,93

4. DISCUSIÓN

Los modelos de distribución de las especies analizadas para este estudio son muy precisos, como así se deduce del valor AUC obtenidos tras la aplicación del algoritmo Maxent. Según estos modelos, las zonas potenciales de las especies de cervunal seleccionadas coinciden con zonas de montaña. La presencia de las especies de cervunal analizadas en el Sistema Central es destacable ya que es en esta cordillera donde se encuentran la mejor representación de estos medios ecológicos en la región de Extremadura.

Las variables que más contribuyen al desarrollo de los cervunales, objetivo principal de este estudio, han sido convenientemente identificadas, revelándose como las más importantes la temperatura media anual y la de los trimestres más secos y húmedos. La precipitación estacional y el índice de humedad media anual también contribuyen de forma significativa a los modelos de algunas especies, aunque de manera secundaria.

Los resultados de este estudio están en consonancia con otras líneas de investigación que concluyen que los ecosistemas de montaña, incluidos los cervunales, se alterarán de forma intensa como consecuencia de los efectos del cambio climático, poniendo en riesgo la supervivencia de endemismos en las montañas de la Península Ibérica. Este estudio presta especial interés a los cervunales del Sistema Central, donde se incluyen los cervunales mejor conservados de Extremadura. Este foco de interés geográfico determinó la selección de las cuatro especies analizadas en el estudio, siendo también representativas para el conjunto de los cervunales de la Península Ibérica.

Según los modelos de distribución diseñados para las cuatro especies, *Nardus stricta*, siendo la más representativa de los cervunales, es la que más superficie potencial perdería en las próximas décadas. Para el año 2030, perdería más del 50% de áreas potenciales. Las pérdidas se incrementan al 70% para el año 2050. A finales del siglo XXI, para el año 2100, más del 90% de la superficie potencial de la Península Ibérica para el desarrollo de la especie habría desaparecido. Esto se debe a que la temperatura media anual es la variable que más contribuye (42,7%) a la construcción del modelo de esta especie por el algoritmo Maxent. Dado que el escenario A2 contempla para la Península Ibérica un aumento destacable de la temperatura media, los cambios en esta variable influirán de forma directa en la distribución potencial de la especie.

Las restantes especies, *Campanula herminii* y *Gentiana pneumonanthe*, reducirían también sus áreas potenciales de distribución. Para el año 2100, las especies perderían, respectivamente, el 67,54% y el 57,39% de la superficie potencial actual. Para ese mismo año, *Crocus carpetanus*, sin embargo, vería aumentado en 1,57% la superficie idónea para su desarrollo

debido a su carácter ubiquista, aunque para ello bajará de cota de altitud, perdiendo áreas de distribución de las cimas de las montañas donde ahora se encuentra.

Las matrices de transición generadas para cada modelo de distribución potencial confirman los cambios de las áreas con mayor valor potencial, transformándose en áreas de valores de potencialidad bajos, en ocasiones en intervalos muy cortos de tiempo.

La selección de los umbrales para el diseño de mapas binomiales (de presencia-ausencia) se ha llevado a cabo con el objetivo de definir las áreas de distribución potencial con las condiciones más restrictivas para cada especie. A su vez, también se han diseñado mapas-modelo binomiales tomando el umbral con las condiciones menos restrictivas posibles para cada especie. De esta manera, a pesar de no existir una regla general para la selección de umbrales, el estudio ha pretendido ser lo más objetivo posible para evitar posibles sesgos.

Este análisis hace prever que los cervunales se mantendrán de forma relictas en las montañas más elevadas del norte peninsular (Cordillera Cantábrica y Pirineos), desapareciendo en las del centro y sur o, en su caso, acantonándose en zonas refugio que puedan conservar las condiciones que necesitan para su desarrollo.

Para los cervunales que se desarrollan en el Sistema Central y, concretamente, en Extremadura, los mapas-modelo indican que, en el año 2030, *Nardus stricta* habrá perdido prácticamente la totalidad de la superficie idónea para su desarrollo. Hacia el año 2050 podría considerarse una especie relictas en el Sistema Central y para el año 2100 estaría extinguida. Es preciso tener en cuenta que la dinámica del ecosistema, además de depender de factores climáticos, también es influenciada de forma directa por otros factores, como las relaciones bióticas entre las especies que conforman el hábitat. Ésta es una cuestión muy interesante que los modelos de distribución de especies aún no tienen en cuenta, ya que no están definidas de forma conveniente las relaciones interespecíficas que se dan en los ecosistemas.

5. CONCLUSIONES

Se ha estimado, mediante el uso de modelos, el impacto del cambio climático en los cervunales de la Península Ibérica y también en los que se desarrollan en el Sistema Central y en Extremadura. Se han identificado los factores climáticos que contribuyen, en mayor medida, al desarrollo de los cervunales, como es el caso de la temperatura media anual. El estudio ha permitido, también, estimar la evolución temporal de la extensión del hábitat potencial de los cervunales, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y delimitando las áreas potenciales de distribución para los años 2030, 2050 y 2100.

Los resultados de este estudio confirman que la evolución de los ecosistemas de montaña, como los cervunales, son muy sensibles al cambio climático, cuyos efectos en la Península Ibérica es enorme. Así, la dinámica temporal apunta a que los cervunales que forman parte de los mosaicos de hábitat de la mayoría de las montañas de la Península Ibérica en la actualidad, pasarían a encontrarse – potencialmente- para 2050, únicamente en las montañas del norte, Cordillera Cantábrica y Pirineos, reduciéndose drásticamente en Sierra Nevada y desapareciendo del Sistema Central.

La pérdida de hábitats de cervunal en Extremadura significaría también una pérdida de endemismos ibéricos destacable. Conlleva, igualmente, la reducción de importantes superficies de pastos para el ganado. Tanto por motivos ecológicos como económicos, sería importante diseñar e implementar medidas de conservación de los cervunales, extensibles también a otros hábitats de interés ubicados en alta montaña, como las turberas. Dichas medidas deben ir encaminadas a amortiguar los impactos del cambio climático. En la toma de decisiones sobre dichas medidas, las herramientas que se han utilizado en este estudio resultan de extraordinaria utilidad.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brunet, M. y cols (2009). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Instituto Nacional de Meteorología. 165 pp.

- Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura (2011). 200 pp.
- Escudero, A. y cols (2012). Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea. *Ecosistemas* 21 (3): 63-72.
- Fernández-González, F., Loidi, J., Moreno Saiz, J.C. (2005). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Universidad de Castilla-La Mancha. pp. 211-212.
- Fillat, F. y cols (2008). Pastos del Pirineo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 114-115 pp.
- Mateo, R., Felicísimo, A., Muñoz, Jesús. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.
- Kriticos, D. J., Webber, B. L., Leriche, A., Ota, N., Macadam, I., Bathols, J. and Scott, J. K. (2012), CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 53–64.
- Merow, C. y cols (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and setting matter. *Ecography* 36: 1058-1069.
- Norris, D. (2014). Model thresholds are more important than presence. *Tropical conservation science* vol.7 (3); 529-547.
- Phillips, S.J. y cols (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190: 231-259.
- Rocha, J. y cols (2014). Biogeographic trends of endemic and subendemic flora in the western Iberian Peninsula under scenarios of future climate change. *Lazaroa* 35: 19-35.
- Rodríguez-rojo, M.P y Sánchez-Mata, D. (2003). Análisis biogeográfico y del valor pastoral de los cervunales en el sistema central. *Pastos*, XXXIII (2): 233-251.
- Romo, H., Sanabria, P., García-Barros, E. (2012). Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución de lepidópteros del género *Boloria* Moore, 1900 en la Península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revta. Lepid.*, 40 (158): 20 pp.
- Santillán Rodríguez, V., Chacón, G. (2013). Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) para la elaboración de modelos zoogeográficos: un estudio de caso. Universidad del Azuay. pp. 31-39.
- Scheldeman X., Van Zooneveld, M. (2011). Manual de capacitación en análisis especial de diversidad y distribución de plantas. Biodiversity international. 186 pp.
- Varela, S., Mateo, R.G., García-Valdés, R., Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23(1): 46-53.
- Varela, S. y cols (2015). ecoClimate vs. Wolrdclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. *Ecosistemas* 24(3): 88-92.
- Van Proosdij, A. y cols (2016). Minimum required number of specimen record to develop accurate species distribution models. *Ecography* 39: 542-552.

TENDENCIAS EN LA LOCALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS SUBVENCIONADOS A TRAVÉS DEL MÉTODO LEADER (2007-2013) EN EXTREMADURA

Gema Cárdenas Alonso¹

¹Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, Avda. de las Letras, s/n, 10.071, Cáceres, gemacardenas@unex.es

RESUMEN

Entre las acciones con las que se busca solucionar los problemas demográficos, sociales y económicos que experimentan las zonas rurales europeas, entre ellas Extremadura, se encuentra la destinada al desarrollo rural bajo el Método Leader, implantada en la región extremeña desde los inicios en 1991. El objetivo ha sido diversificar la economía de dichas zonas, las más desfavorecidas, con el fin de invertir sus procesos de envejecimiento y despoblación, y ello a través de la cofinanciación de proyectos entre los sectores público y privado, siendo actualmente el FEADER el fondo europeo que financia las ayudas al desarrollo rural.

El objetivo de este trabajo es analizar cómo es la distribución de los proyectos comprometidos durante el último periodo de programación del FEADER (2007-2013) en Extremadura a partir de la geolocalización de los mismos y ver hasta qué punto está relacionada con el comportamiento demográfico y económico de cada territorio de actuación.

Palabras Clave: Método Leader, FEADER, Geolocalización, Extremadura

ABSTRACT

Among the actions to solve the demographic, social and economic problems that Europe's rural areas experience, including Extremadura, there is one for rural development under the Leader Approach, which has been implemented in Extremadura since the beginning in 1991. The objective of this action is to diversify the economy of the poorest rural areas in order to reverse their aging and depopulation processes through the implementation of projects financed by public and private sectors. Nowadays, EAFRD is the European fund that finances the rural development aid.

Analysing the distribution of projects in the last programming period of EAFRD ((2007-2013) is the intention of this paper, through the geolocation of projects, and seeing if this distribution is related to demographic and economic behaviours of each territory of action.

Key Words: Leader Approach, EAFRD, Geolocation, Extremadura

INTRODUCCIÓN

Extremadura, una región predominantemente rural (OCDE, 2004), es considerada una de las regiones menos desarrolladas de la UE, con un PIB aún por debajo del 75 % de la media europea (única en España) y con graves problemas estructurales tanto demográficos como económicos. Aun poseyendo un importante legado natural e histórico, presenta características territoriales que la han condicionado a situarse en una posición retrasada respecto a otras regiones europeas y españolas (Nieto y Cárdenas, 2015a): tiene poco más de un millón de habitantes, una densidad de población media de 27 hab/km², largas distancias entre sus extremos (más de 300 km de norte a sur y más de 250 km de este a oeste), un poblamiento muy disperso y concentrado principalmente en los mayores núcleos de población localizados en las zonas agrarias más productivas de la región y en torno a las principales vías de comunicación (A-5 y Vía de la Plata) y el sector agrario es aún muy representativo en el empleo regional (10 %) y en el Valor Añadido Bruto (8 %).

De este modo, entre las iniciativas o acciones con las que se busca dar solución a los problemas anteriormente citados (demográficos, sociales y económicos), se encuentra la destinada al desarrollo rural bajo el Método LEADER, la cual se viene aplicando en los espacios rurales europeos desde 1991. El objetivo ha sido, y es actualmente, activar el potencial de las zonas rurales y estabilizar su población a través de la diversificación de las actividades económicas introduciendo nuevas actividades que complementen al sector agrario y con las que se tome provecho de la multifuncionalidad que ofrece la agricultura (Atance y Tió, 2000), de tal manera que se conserve el patrimonio rural (natural e histórico), se mantenga un nivel demográfico adecuado, se fomente el uso de las nuevas tecnologías,... (Cebrián Abellán, 2003), todo mediante la puesta en marcha de una serie de proyectos cofinanciados por los Fondos Estructurales Europeos, las administraciones nacionales (Administración General del Estado, gobierno regional y ayuntamientos) y agentes privados (sociales y económicos) (Nieto y Cárdenas, 2015b). En definitiva, el objetivo que se persigue a través de las ayudas al desarrollo rural bajo el Método Leader es convertir a las zonas rurales en lugares más atractivos y adecuados para vivir y trabajar en los que las condiciones de vida sean lo suficientemente atrayentes para personas de todas las edades, invirtiendo así los procesos de envejecimiento y despoblación y dotándolas de los equipamientos y servicios que contribuyan en su desarrollo (MAPA, 2004).

Actualmente es el FEADER (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural) el Fondo europeo que financia las ayudas al desarrollo rural, tras los distintos periodos de la Iniciativa Comunitaria Leader (1991-2006) y del Programa PRODER (1995-2006), estando regulado por el Reglamento 1698/2005 en su primera etapa (2007-2013) y por el Reglamento 1305/2013 en el recién estrenado periodo 2014-2020. Si hay algo a destacar en el recorrido del Método Leader en todos estos años es, sin duda, su carácter innovador y alternativo a través del diseño y puesta en marcha de estrategias de desarrollo rural territorial con enfoque local en las que la población es la protagonista, como sujeto y como objeto (Nieto y Cárdenas, 2016), estrategias diseñadas por los Grupos de Acción Local (GAL), asociaciones sin ánimo de lucro en las que están representados los sectores público y privado de cada territorio de actuación y en los que existe un equipo técnico encargado también de la gestión de los proyectos a subvencionar. Actualmente existen 24 GAL en Extremadura, los cuales aglutinan a todos los municipios de la región (98,8 %), excepto a los cuatro que poseen más de 40.000 habitantes (Badajoz, Cáceres, Mérida y Plasencia), ocupando el 89,7 % de la superficie regional y el 70,9 % de la población total, es decir, prácticamente todo el territorio extremeño se encuentra bajo el amparo de las ayudas al desarrollo rural.

Teniendo en cuenta que Leader es un modelo basado en el territorio (Cebrián Abellán, 2003), el cual actúa como sujeto y fuente de recursos y que está sometido a factores condicionantes tanto físicos como económicos y sociales (Solsona y López, 2012) resulta interesante el estudio de su aplicación en Extremadura, una región que posee una importante diversidad de territorios con características demográficas y económicas que están actuando como factores de localización de los proyectos y de las inversiones, de tal modo que están

influyendo en la distribución de los mismos y creando diferencias, una vez más, entre las zonas rurales más aventajadas y las más desfavorecidas. Ante esta hipótesis, el objetivo principal de este trabajo es tomar una serie de indicadores demográficos y económicos básicos a nivel municipal y relacionarlos “sobre el territorio”, a través de un Sistema de Información Geográfica, con la geolocalización de los proyectos comprometidos por los GAL extremeños en el último periodo de programación de Leader ya finalizado, 2007-2013, con el fin de mostrar la realidad de la aplicación de Leader en Extremadura, una aplicación que, aunque pueda resultar sostenible y viable económicamente, no respalda lo perseguido en todos estos años, reducir las diferencias demográficas y socioeconómicas entre las zonas rurales y las urbanas.

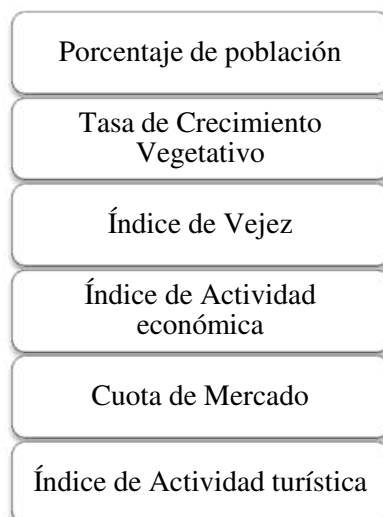
En este contexto, Extremadura ha sido pocas veces empleada como sujeto de análisis. Autores como Nieto y Gurría (2008, 2010) y Nieto y Cárdenas (2015a, 2016) lo han venido haciendo con el fin de analizar el Modelo Territorial de la región atendiendo a las ayudas al desarrollo rural recibidas en los últimos 25 años, así como han creado un geoportal con la finalidad de exponer los resultados obtenidos (Nieto y Cárdenas, 2015c). Por otro lado, son varias las regiones españolas que han servido como áreas de estudio para el análisis del Método Leader, como Cantabria (Gil de Arriba, 1999; Delgado y De La Fuente, 2000; Gutiérrez, 2000), Castilla-La Mancha (Plaza y Pillet, 2001; Pillet, 2008; Vargas et al, 2009), Castilla y León (Hortelano y Martín, 1999; Zapatero y Sánchez, 1999; Alario y Barajas, 2006) y Andalucía (Cortés, 2001; Navarro y Larrubia, 2000; Cejudo y Navarro, 2009, 2015). Son estudios en los que principalmente se presenta la distribución de las inversiones atendiendo a diferentes factores, como la superficie y la población, la tipología de las medidas, empleo, infraestructuras,...

En este caso, se ha tomado provecho del laborioso trabajo realizado al geolocalizar cada uno de los 4.618 proyectos comprometidos por los 24 GAL extremeños en el periodo de programación 2007-2013, relacionándolos así, como se ha expuesto anteriormente, con indicadores territoriales (demográficos y económicos) a nivel municipal. Gracias al proceso de geolocalización se conoce la ubicación exacta algo, conociendo así su posición geográfica a partir de la obtención de las coordenadas, y este proceso, junto a los SIG, permite, entre otras cosas, informar de cuál es la situación de un fenómeno respecto a la de los demás y a su vez asociarla a lugares del mundo real (Velazco y Joyanes, 2012; Beltrán, 2015).

A continuación se expone el trabajo desarrollado a partir de un epígrafe metodológico, en el que es presentada la obtención de los datos analizados; un apartado con los resultados obtenidos; y un epígrafe final con las conclusiones extraídas.

METODOLOGÍA

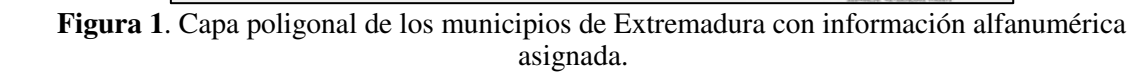
El primer paso metodológico ha sido la construcción de una Base de Datos alfanumérica constituida por las variables escogidas para ser analizadas junto a la localización y distribución de los proyectos comprometidos por los GAL en el último periodo de programación a nivel municipal y codificada a través del Código INE, es decir, una Base de Datos con 379 entidades (municipios receptores de ayudas al desarrollo rural) y 6 atributos (variables) relacionados con un identificador común, el Código INE. Las variables escogidas son:



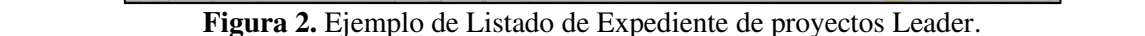
Los datos demográficos, es decir, el Porcentaje de Población, la Tasa de Crecimiento Vegetativo y el Índice de Vejez, han sido obtenidos del Padrón municipal elaborado por los ayuntamientos y extraído de la web del Instituto Nacional de Estadística (INE). En los tres casos se ha calculado la media para el periodo comprendido entre los años 2010 a 2014, presentando la primera variable, la referente a población, en porcentaje.

Por otro lado, los datos económicos (Índice de Actividad económica, Cuota de Mercado e Índice de Actividad turística) se han obtenido del Atlas Socioeconómico de Extremadura 2014, documento publicado por la Junta de Extremadura. Se trata de una selección de datos estadísticos de la región a nivel municipal, la cual aporta metodologías y estimaciones propias, por lo que se hace necesaria la descripción de los mismos (Extremadura, 2014). El Índice de Actividad económica es un índice comparativo de la actividad económica municipal para el año 2011, el cual se obtiene en función del impuesto correspondiente al total de actividades económicas empresariales (industriales, comerciales y de servicios) y profesionales (secciones 1ª y 2ª del IAE). El valor del índice expresa la participación de la actividad económica (en tanto por diez mil) de cada municipio respecto al total de Extremadura (total de euros recaudados como impuesto en Extremadura = 10.000). En cuanto a la Cuota de Mercado, es un índice que expresa la capacidad de consumo comparativa de los municipios, referida a 1 de enero de 2013 y es elaborado mediante un modelo equivalente a un promedio de índices de variables de población, número de teléfonos, automóviles, camiones, oficinas bancarias y actividades comerciales minoristas, es decir, la capacidad de consumo de un municipio se mide no sólo en función de la importancia de la población, sino también en función del poder adquisitivo de la misma. Por tanto, este índice expresa la participación (en tanto por diez mil) que corresponde a cada municipio sobre una base para el total de Extremadura de 10.000 unidades. Se puede afirmar que la Cuota de Mercado constituye una orientación adecuada para valorar y ponderar la cantidad de productos y servicios que, teóricamente y en igualdad de condiciones, pueden absorber los municipios, especialmente cuando se trata de productos o servicios que son objeto de una distribución homogénea. Por último, el Índice de Actividad turística, variable escogida como adecuada en el estudio por la gran cantidad de proyectos destinados al sector turístico. Se trata de un índice comparativo de importancia turística de cada municipio, referido a 2011, el cual se obtiene en función de la cuota o impuesto de actividades económicas (IAE) correspondiente a las actividades turísticas, basado a su vez en la categoría de los establecimientos turísticos, número de habitaciones y ocupación anual, por lo que constituye prácticamente un indicador de la oferta turística. El valor del índice indica la participación (en tanto por diez mil) que corresponde a cada municipio respecto al total de Extremadura (total de euros recaudados como impuesto en Extremadura = 10.000).

La Base de Datos alfanumérica elaborada con las variables descritas ha sido asignada, a través del SIG, a una Base de Datos cartográfica poligonal en formato .shp de los municipios extremeños mediante el Código INE, obteniendo:



The screenshot shows the 'Novas' (New) menu with the following options: Novo, Abre-fechada, Diagrama de rede, Elementos, Tabelas, Tabela, Mapa, e Arquivo.



numerosos los proyectos concentrados en una misma localización, algo que no alterará los resultados, al estar analizando el municipio en su conjunto.



Figura 3. Visor *Iberpix* del IGN (<http://www.ign.es/iberpix2/visor/>).

De este modo, navegando por el visor, se localizó la dirección de cada proyecto (4.618 en total), obteniendo las coordenadas en el sistema de proyección ETRS 1989 en los husos 29 y 30 (Figura 4).

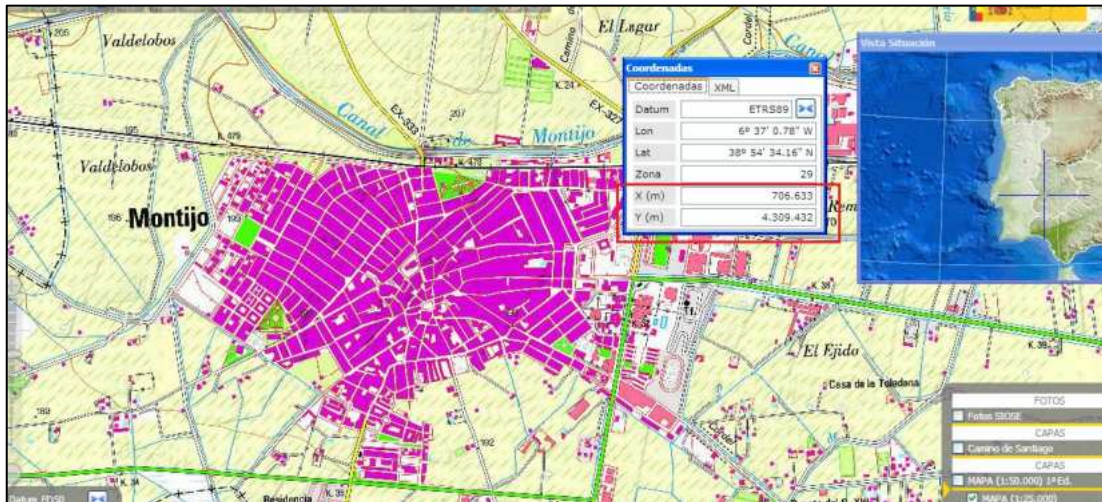


Figura 4. Obtención de coordenadas en el visor *Iberpix* del IGN.

La Base de Datos alfanumérica resultante fue importada al SIG, creando a continuación una Capa de Eventos a través de la herramienta *Make XY Event Layer* de ArcGIS, obteniendo un shape con elementos puntuales (cada uno de los proyectos) (Figura 5):

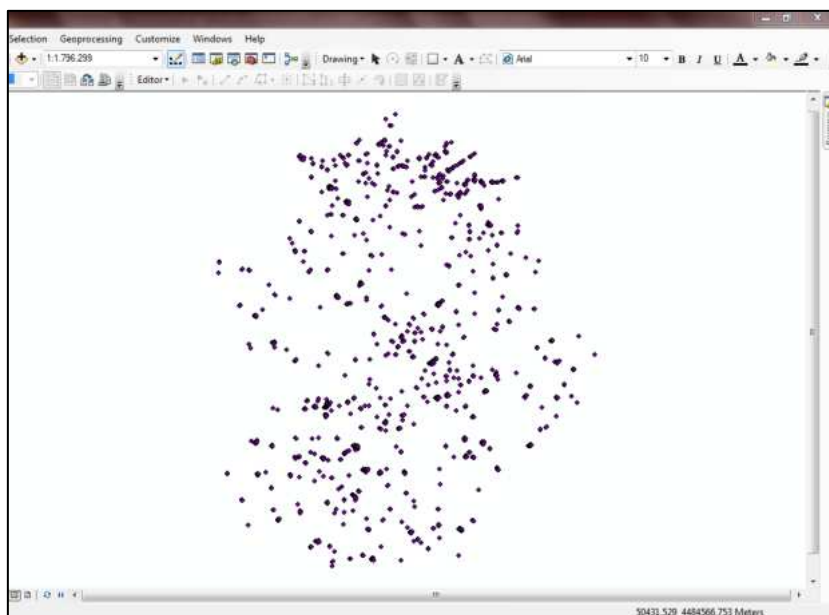


Figura 5. Shape con elementos puntuales representativos de la localización de los proyectos Leader durante el periodo 2007-2013.

RESULTADOS

Durante el último periodo de programación del FEADER, 2007 – 2013, los GAL extremeños han comprometido la puesta en marcha de 4.618 proyectos, con una inversión total de casi 225 millones de euros, de los que el 45,6 % proceden de fondos privados, es decir, de la población local. Es un porcentaje muy significativo, pues indica que la participación de la población local no es solo como objeto de las ayudas, sino también como sujeto. A lo largo de los 25 años de implantación de Leader, el número de personas decididas a invertir en su territorio ha ido en aumento (Nieto y Cárdenas, 2015a).

La mayor parte de los proyectos ha ido destinada, principalmente, a acciones dedicadas a la conservación y mejora del Patrimonio y el Medio ambiente (submedidas 321, 322 y 323 del Eje 3 del FEADER), a Pymes, artesanía y servicios (submedidas 311 y 312 del Eje 3), a formación y empleo (submedida 331) y a turismo (submedida 313), englobando el 89 % del total, es decir, son pocos los proyectos dedicados al resto de submedidas del FEADER, las cuales están dirigidas a cooperación (1 %), gastos de funcionamiento del GAL (5 %) y Valorización de la producción agraria (4), aunque es necesario mencionar que, desde el punto de vista de las inversiones, las mayores cantidades pertenecen a las medidas de Pymes, artesanía y servicios y turismo.

En las figuras 6 y 7 se puede observar la localización y distribución de los proyectos en los municipios extremeños, así como la de los indicadores demográficos y económicos, apoyadas ambas figuras en la tabla 1, tabla en la que se aporta información alfanumérica de los municipios con mayor número de proyectos. Para este criterio se ha tenido en cuenta que la media de proyectos comprometidos por municipio es 12, estableciendo como cantidad significativa la mayor de 60.

De este modo, y en primer lugar, solo el 18 % de los municipios extremeños tiene más de 12 proyectos, con el 43 % de los proyectos totales y el 12,6 % de la población regional; solo 20 municipios (5, 3 %) tienen más de 60 proyectos y 9 municipios (2,3 %) más de 100. Todo esto significa que en el 82 % de los municipios de la región no se ha llegado a la media, incluso en 17 municipios, durante los cuatro años del periodo, no se ha comprometido ninguno. Son los municipios de Pueblonuevo del Guadiana, Valle de Matamoros, Orellana de la Sierra, Capilla y Risco, en la provincia de Badajoz, y Rosalejo, Casas de Millán, Calzadilla, Navalvillar de Ibor, Cabañas del Castillo, Herguijuela, La Aldea del Obispo, Alcollarín, Berrocalejo, Valdecañas de Tajo, Garvín y Campillo de Deleitosa, en la provincia cacereña. Atendiendo a los indicadores

analizados, son municipios con escasa población (del 0,19 % al 0,01 % de la población regional), tasas de crecimiento vegetativo negativas, con los índices de vejez más elevados y apenas actividad económica y turística y Cuota de mercado.

Observando las figuras 6 y 7 y la tabla 1 se aprecian ciertas tendencias en la localización de los proyectos. Desde el punto de vista demográfico, teniendo en cuenta que las ciudades no se incluyen en el análisis, son los núcleos que aglutinan más población los que más proyectos comprometidos poseen, así como las tasas de crecimiento vegetativo, aunque negativas, más adecuadas, así como menores problemas de envejecimiento en su población. Se trata, en la mayor parte de los casos, de municipios considerados cabeceras comarcales, en los que se centralizan la población, el empleo, las mayores rentas y equipamientos y servicios, tal y como se puede deducir también a partir de los indicadores económicos (figura 7), con el Índice de Actividad económica y la Cuota de mercado. Son municipios en los que hay población suficiente entre la que se puede encontrar a empresarios o emprendedores que quieren invertir en su territorio, suficientemente jóvenes y con ganas de emprender una nueva actividad o complementaria al sector agrario. Además, en estos núcleos se suele ubicar el CEDER de cada GAL, por lo que la información y el trabajo de los equipos técnicos siempre llegan con más facilidad a su población que a la del resto de municipios de la comarca. Aparte, se considera más viable económicamente apostar por invertir en aquellos municipios donde puede haber población suficiente para aprovechar la actividad que se genere.

Si hay un aspecto a destacar es la concentración de proyectos en las zonas de montaña del norte de la provincia cacereña, en gran parte dedicados al sector turístico. En total, han sido 775 los proyectos dedicados a turismo y solo 5 GAL del norte de la región albergan al 28 % de los mismos. Se trata de los GAL de las comarcas de Valle del Jerte, Valle del Ambroz, Valle del Alagón, Jerte y Sierra de Gata y dentro de ellos, municipios como Cuacos de Yuste, Hoyos, Coria, Hervás y Navaconcejo presentan las mayores cantidades, es decir, las cabeceras comarcales de estos territorios y en los que se experimentan los mejores resultados demográficos y económicos. Analizando el Índice de Actividad turística, estos municipios no son los que mayor valor presentan, sí municipios como Zafra, Trujillo y Guadalupe, pero económicamente se han aferrado a la explotación de sus ricos recursos patrimoniales, tanto naturales como culturales.

Por otro lado, se aprecia otra concentración entorno a las ciudades de Badajoz y Mérida, extendiéndose hacia el este por las Vegas del Guadiana. Se trata de las zonas más desarrolladas de la región, gracias al sector agrícola, con un tejido empresarial consolidado y con los empresarios más solventes con capacidad suficiente para invertir en su territorio.

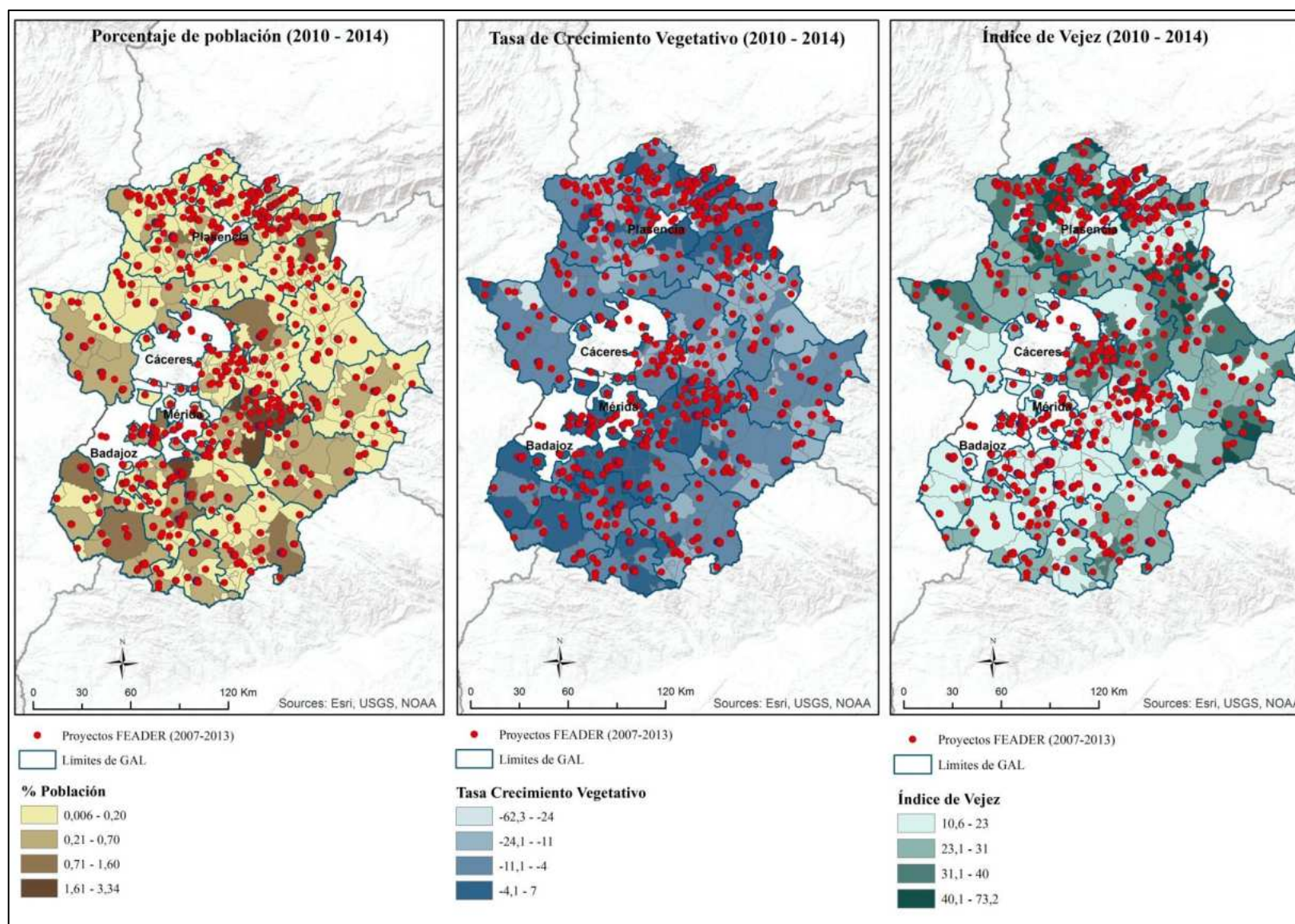


Figura 6. Indicadores demográficos. Elaboración propia.

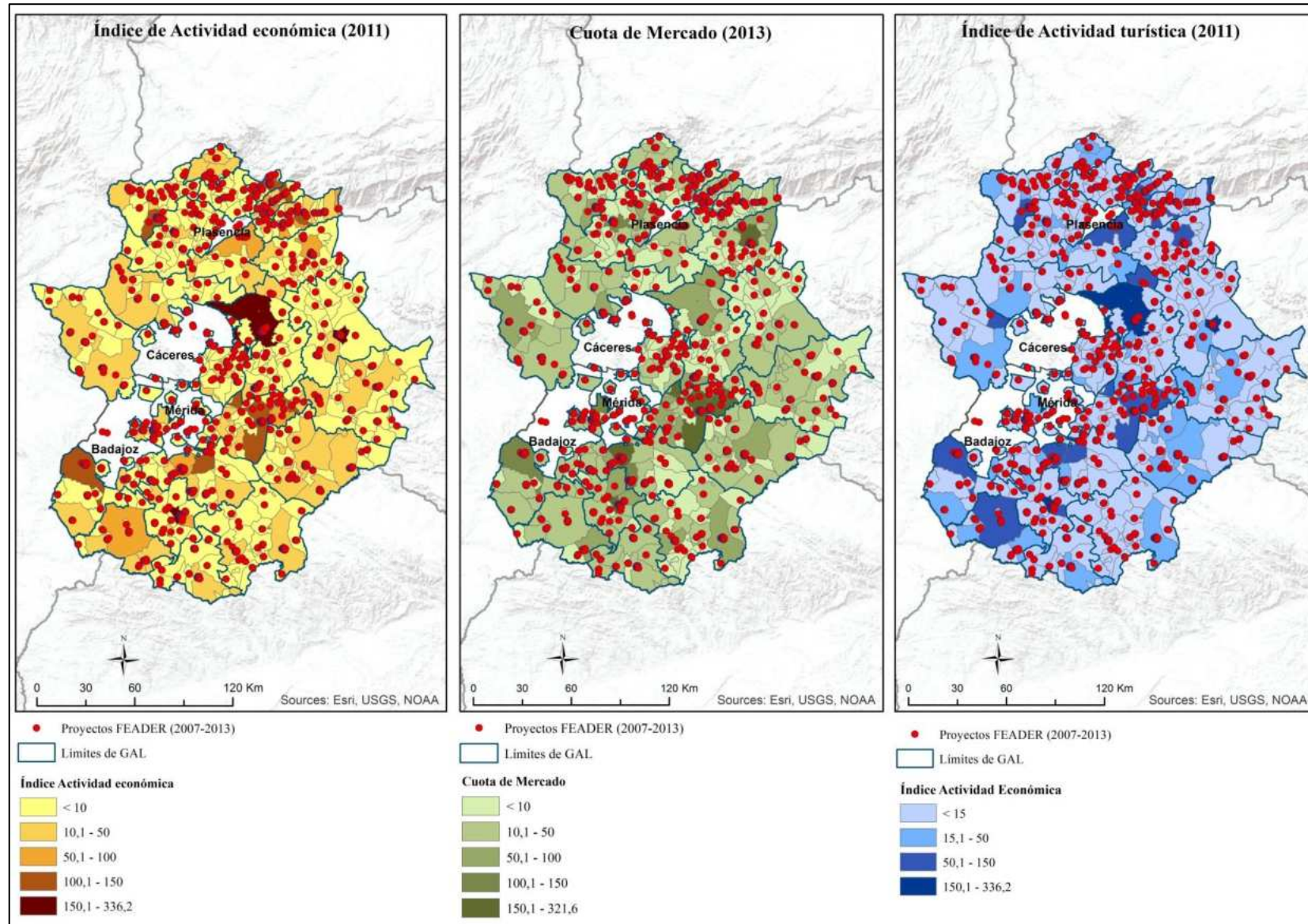


Figura 7. Indicadores económicos. Elaboración propia.

Tabla 1. Proyectos Leader e indicadores demográficos y económicos en Extremadura.

Municipio	GAL	Nº Proy	% Proy.	% Población	Tasa Crec. Veg.	Índ. de Vejez	Índ. Actividad Económ.	Cuota de Mercado	Índ. de Act. Turística
Coria	Valle del Alagón	156	3,38	1,18	-0,61	17,48	25,13	124	25
Miajadas	Miajadas Trujillo	149	3,23	0,92	-1,75	18,85	43,10	98	43
Casar de Cáceres	Tajo-Salor-Almonte	144	3,12	0,43	-5,06	16,97	4,01	44	4
Navaconcejo	Valle del Jerte	135	2,92	0,18	-2,60	22,94	58,65	22	59
Hervás	Valle del Ambroz	131	2,84	0,38	-1,86	21,18	100,68	1	0
Azuaga	Campiña Sur	123	2,66	0,74	-4,60	23,39	39,54	78	40
Caminomorisco	Hurdes	118	2,56	0,11	-4,11	26,03	46,09	13	46
Cañaveral	Monfragüe y su Entorno	104	2,25	0,11	-11,79	33,33	20,93	13	21
Castuera	La Serena	101	2,19	0,58	-5,91	22,14	30,86	62	31
Torre de Santa María	Montánchez Tamuja	95	2,06	0,06	-12,88	30,49	4,01	6	4
Olivenza	Olivenza	83	1,80	1,09	0,58	16,28	122,61	106	123
Herrera del Duque	La Siberia	74	1,60	0,34	-4,17	23,03	11,63	3	0
Guijo de Granadilla	Trasierra Cáparra	73	1,58	0,05	-11,26	41,40	4,01	7	4
Villafranca de los Barros	Barros O.-S. Grande	70	1,52	1,21	0,42	18,64	19,61	116	20
Valencia de Alcántara	Sierra de San Pedro-Los Baldíos	70	1,52	0,55	-7,54	26,96	14,99	57	15
Puebla de la Calzada	Lácara	70	1,52	0,54	-0,13	17,73	24,07	49	24
Cañamero	Villuercas Ibores y Jara	70	1,52	0,16	-8,07	26,27	17,59	19	18
Navalmoral de la Mata	Campo Arañuelo	69	1,49	1,57	-0,59	14,25	94,17	161	94
Zafra	Zafra - Río Bodión	66	1,43	1,51	2,56	15,71	336,20	154	336
Trujillo	Miajadas-Trujillo	66	1,43	0,86	-4,26	21,49	316,22	88	316

CONCLUSIONES

Durante los últimos 25 años se vienen aplicando, a través del Método Leader, una serie de estrategias de desarrollo rural afines a los territorios sobre los que se actúa, es decir, atendiendo a sus características y necesidades y a las de la población que los habita. Sin embargo, a pesar de tratarse de estrategias únicas para cada territorio, en algunos casos, como en Extremadura, los resultados no se pueden considerar del todo satisfactorios, pues sus áreas más desfavorecidas siguen experimentando procesos de envejecimiento y despoblación, a pesar de que son numerosos los proyectos, para la diversificación de sus economías, que en ellos se están implantando. Una manera de encontrar un motivo a estos resultados ha sido analizar los proyectos comprometidos para ser subvencionados durante el último periodo de programación del FEADER (2007-2013) en la región, observando su distribución a partir de su geolocalización y comprobar si está siendo condicionada por diversos factores, en este caso, demográficos y económicos. El tener en cuenta estos factores se debe a que, ante un análisis simple, se observó que los municipios con mayor población eran, al mismo tiempo, los que mayor número de proyectos albergaban, así como de mayor cuantía económica.

De este modo, ante los resultados, se identifican ciertas tendencias en la distribución y localización de los proyectos en relación a las características demográficas y económicas de los municipios extremeños en los que se han implantado. Por un lado, existe una significativa concentración en los municipios con mayor dinamismo, es decir, en aquellos que poseen mayor población, y en los considerados como cabeceras comarcales, los centros funcionales de las distintas “comarcas” extremeñas. Se trata de casos como los de Coria, Miajadas, Casar de Cáceres, Navaconcejo o Azuaga, en los que también se han puesto en marcha proyectos de gran envergadura económica. Por otro lado, se identifican áreas con una concentración de proyectos más dispersa, áreas opuestas a las anteriores, con menor volumen de población y situadas en la penillanura cacereña y en las zonas de campiña del este de la provincia pacense y en el oeste de la cacereña, es decir, en las zonas más limítrofes de la región y por lo tanto, más alejadas de las principales vías de comunicación y de los mayores centros de población, ocio y consumo. Por último, se identifica una tercera tendencia en las comarcas del norte de Extremadura, con un importante número de proyectos dedicados, en su mayoría, al turismo, con municipios en los que se está optando, desde los GAL, por estrategias diseñadas entorno a productos turísticos, tales como denominaciones de origen, fiestas culturales, museos,... Por diversas dificultades físicas, en estas zonas ha sido imposible desarrollar una agricultura competitiva, como sí ocurre en los espacios dedicados a explotaciones de secano y regadío, por lo que una de las pocas salidas es la explotación de recursos naturales y culturales.

Así, se puede determinar que en Extremadura, en las zonas con un escaso tejido industrial y agroindustrial, y por ende, empresarial, Leader no está dando los frutos esperados, a pesar del gran esfuerzo realizado por los GAL. Es difícil luchar contra la problemática causada por el envejecimiento de su población y por su ubicación lejos de las principales ciudades.

Existe una “nueva” forma de entender y generar desarrollo, a la que se acoge el Método Leader, y está basada en su dependencia de los emprendedores, por lo que el mayor número de proyectos se concentra en los municipios que ya son los más dinámicos, condenando con esto, una vez más, a los más periféricos, deprimidos y despoblados, y a su población, al ostracismo. Siguen siendo los colectivos “más poderosos” y solventes económicamente con experiencia previa los que tienen capacidad para desarrollar nuevos e innovadores proyectos con los que triunfar. Por tanto, es imposible, en el caso extremeño, realizar una valoración positiva de lo conseguido hasta el momento con Leader; aún queda un largo camino por recorrer en el que salvar grandes obstáculos, empezando por la situación regresiva, demográfica y económica, desde la que parte la mayor parte de los municipios extremeños.

A pesar de todo, es incuestionable la gran labor ejercida por los GAL con la aplicación del Método Leader, implicando significativamente a la población local en la toma de decisiones y en el diseño de las estrategias de desarrollo de sus territorios, creando una importante conciencia de comarca que, a la larga, puede ser un factor que incida en la decisión de apostar por invertir en las zonas rurales y luchar por su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Secretaría General de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Junta de Extremadura por la concesión de la ayuda para la Formación del Personal Investigador predoctoral (PD12028), cofinanciada con fondos FSE (Fondo Social Europeo), con la que es posible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alario Trigueros, M. y Baraja Rodríguez, E. (2006): Políticas públicas de desarrollo rural en Castilla y León, ¿Sostenibilidad consciente o falta de opciones?: Leader II. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 26.

Atance, I. y Tió, C. (2000): La multifuncionalidad de la agricultura: aspectos económicos e implicaciones sobre la política agraria. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, 189.

Beltrán, G. (2015): La geolocalización social. *Polígonos. Revista de Geografía*, 27.

Cejudo Abellán, A. (2003): Génesis, Método y Territorio del desarrollo rural con enfoque local. *Papeles de Geografía*, 15.

Cejudo, E. y Navarro, F. (2009): La inversión en los programas de desarrollo rural. Su reparto territorial en la provincia de Granada. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 29.

Cortés Macías, R. (2001): El desarrollo rural en Andalucía a través de las iniciativas LEADER y los programas PRODER. *Baetica*, 12.

Delgado, C. y Fuente, M.T. (2000): Las estrategias de desarrollo rural: una valoración del PRODER en Cantabria. *Los espacios rurales en el cambio de siglo: incertidumbres ante los procesos de globalización y desarrollo*, Asociación de Geógrafos Españoles, 723-734.

Gobierno de Extremadura (2014): Atlas Socioeconómico de Extremadura 2014.

Gil de Arriba, C. (1999): Programas europeos y desarrollo rural en Cantabria. Actuaciones y perspectivas. *Polígonos. Revista de Geografía*, 8.

Gutiérrez, S. (2000): Balance de la aplicación de la iniciativa europea de desarrollo rural LEADER en Campoo (Cantabria). *X Coloquio de Geografía Rural*, Asociación de Geógrafos Españoles, Lleida.

Hortelano, L.A. y Martín, M.I. (1999): La incidencia de las iniciativas comunitarias y de los fondos europeos en el desarrollo rural de la provincia de Salamanca. *Polígonos. Revista de Geografía*, 8.

MAPA (2004): El estados de la cooperación en LEADER +. Mucho en común. *Actualidad Leader. Revista de desarrollo rural*, 26.

Navarro, F., Woods, M. y Cejudo, E. (2015): The LEADER Initiative has been a victim of its own success. The decline of the bottom-up approach in rural development programmes. The cases of Wales and Andalusia. *Sociologia Ruralis*, 56 (2).

Navarro, S. y Larrubia, R. (2000): Los programas Leader II en la provincia de Málaga. Su contribución al desarrollo del espacio rural. *Baetica*, 22.

Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015a): El Método Leader como política de desarrollo rural en Extremadura en los últimos 20 años (1991-2013). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 69.

Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015b): Los Grupos de Acción Local en el periodo de programación FEADER (2007-2013) en Extremadura. *Revista de Estudios Extremeños*, LXXI, 33.

- Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015c): Publicación de los datos de los Grupos de Acción Local LEADER en Extremadura en un geoportal. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica*, 29.
- Nieto, A. y Cárdenas, G. (2016): Análisis del método LEADER (2007-2013) en Extremadura mediante técnicas SIG y Análisis Multivariado. *Cuadernos Geográficos*, en prensa.
- Nieto, A. y Gurriá, J.L. (2008): Las políticas rurales europeas y su impacto en Extremadura. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 21.
- Nieto, A. y Gurriá, J.L. (2010): El modelo rural y el impacto de los programas LEADER y PRODER en Extremadura (Propuesta metodológica). *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XIV.
- OCDE (2004): Placed-based policies rural development. Extremadura. Spain (case study). *6th Session held at the OECD Head quarters*. Paris.
- Plaza, J. y Pillet, F. (2001): *Lecciones de desarrollo rural: una aproximación formativa desde y para Castilla-La Mancha*. Universidad de Castilla-La Mancha, Asociación para el Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha.
- Solsona, J. y López, D. (2012): Factores de localización y desarrollo turístico en el espacio rural de la Comunitat Valenciana. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 59.
- Vargas, M., Meseguer, M.L., Mondéjar, J. y Mondéjar, J.A. (2009): Los Programas de Innovación rural en Castilla-La Mancha: un análisis de la inversión en Pymes y Servicios. *Papeles de Geografía*, 13.
- Velazco, S. y Joyanes, L. (2012): La geolocalización al servicio de la sociedad. *X Congreso TopCart 2012 – I Congreso Iberoamericano de geomática y C.C. de la Tierra*.
- Zapatero, J. y Sánchez, M.J. (1999): Instrumentos específicos para el desarrollo rural integrado: la Iniciativa Comunitaria LEADER y el Programa Operativo PRODER. *Polígonos. Revista de Geografía*, 8.

LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE CÁCERES

Faustino Cordero Montero¹ y Luis Antonio Álvarez Llorente²

¹ Sección del SIG. Ayuntamiento de Cáceres, plaza Mayor nº1. 10005 Cáceres (faustino.cordero@ayto-caceres.es)

² Sección del SIG. Ayuntamiento de Cáceres, plaza Mayor nº1. 10005 Cáceres (luisantonio.alvarez@ayto-caceres.es)

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas muy potentes cuyo uso se ha extendido a múltiples facetas y sectores, entre otros a las administraciones públicas. El Ayuntamiento de Cáceres decide en 1995 poner en marcha un SIG que resolviera alguno de los problemas que tenía, especialmente en lo relacionado con la gestión de cartografía y datos georreferenciados. En los más de 20 años de experiencia, se han recopilado muchos datos, planos, mapas, ortofotos, imágenes, etc., procedentes de numerosas fuentes. Toda esta información se ha puesto siempre a disposición tanto de los técnicos municipales como de los ciudadanos a través de la web del SIG (sig.caceres.es). Posiblemente la evolución natural de los SIG conduce a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), que ponen a disposición de todos los usuarios de Internet gran parte de la información gestionada en el sistema mediante servicios definidos como estándares. En los últimos dos años, los esfuerzos del SIG de Cáceres se han centrado en la puesta en servicio de ide.caceres.es como apuesta municipal por una IDE que permita compartir los contenidos gestionados por el SIG siguiendo las tendencias y los estándares nacionales y europeos, y con idea de complementar los contenidos ofrecidos por el portal Opendata.

Palabras Clave: SIG, Infraestructura de Datos Espaciales, IDE, metadatos, servicios WMS, Opendata, visualizadores, App

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are very powerful tools whose use has been extended to multiple sides and sectors, public administrations among them. In 1995, the Municipality of Cáceres decides to launch a GIS to resolve some problems that they had, especially in relation to cartography management and georeferenced data. In the last 20 years of experience, numerous data, maps, urban planning, orthophotos and images have been gathered from many different sources. All this information has always made available to technicians and citizens through GIS website (sig.caceres.es). Probably, natural evolution of a GIS it is towards the Spatial Data Infrastructures (SDI), which made available to all Internet users a great amount of information managed in the system in formats defined as standards. In the last two years, Cáceres GIS efforts have focused in commissioning ide.caceres.es as the municipal commitment for a SDI which allows sharing the contents managed by the GIS following European and national standards and trends, and to complement the contents offered by Opendata site.

Key Words: GIS, Spatial Data Infrastructures s, SDI, metadata, WMS services, Opendata, viewer, app

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas muy potentes cuyo uso se ha extendido a múltiples facetas y sectores, entre otros a las administraciones públicas. El Ayuntamiento de Cáceres decide en 1995 poner en marcha un SIG que resolviera alguno de los problemas que tenía, especialmente en lo relacionado con la gestión de cartografía y datos georreferenciados.

El SIG de Cáceres (véase la figura 1) se caracteriza por haberse hecho desde el propio Ayuntamiento, sin contratos externos ni dependencia de ninguna empresa, por su alto grado de personalización y abstracción de cara al usuario final, y por el uso de Internet como forma de comunicación con el exterior desde un primer instante.

En los más de 20 años de experiencia, se han recopilado muchos datos, planos, mapas, ortofotos, imágenes, etc., procedentes de numerosas fuentes. Toda esta información se ha puesto siempre a disposición tanto de los técnicos municipales como de los ciudadanos a través de la web del SIG, que ha ido evolucionando, tanto en contenidos como en aspecto, desde la primera versión del año 2000 hasta la última revisión de 2014 (sig.caceres.es).

Pero la web no puede ser la única forma de abrir el SIG a la sociedad. Así, desde 2014 el SIG de Cáceres está presente en las principales redes sociales y en las plataformas móviles con las APP Cáceres View y Cáceres Histórica.

Igualmente, se ha puesto en marcha el portal de datos abiertos open data (Opendata.caceres.es), que pretende promover la puesta a disposición a la sociedad de los datos municipales en formatos reutilizables para el desarrollo de la sociedad de información, para fomentar la transparencia y para que las empresas puedan generar riqueza y empleo utilizando estos datos públicos para desarrollar aplicaciones. La mayor parte de los datos son aportados por el SIG municipal.

Posiblemente la evolución natural de los Sistemas de Información Geográfica conduce a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), que ponen a disposición de todos los usuarios de Internet gran parte de la información gestionada en el sistema mediante servicios definidos como estándares.

En los últimos dos años, los esfuerzos del SIG de Cáceres se han centrado en la puesta en servicio de ide.caceres.es como apuesta municipal por una IDE que permita compartir los contenidos gestionados por el SIG siguiendo las tendencias y los estándares nacionales y europeos.

A finales de 2014 comienza la migración de todos los datos publicados por el SIG municipal a Geoserver, principal motor de la IDE, que proporciona los servicios WMS siguiendo los estándares del OGC. En paralelo se ha trabajado en la definición del catálogo de metadatos (con CatMDEdit) y en el diseño de un portal atractivo y fácil de usar.

El portal de la IDE de Cáceres se abre al público en marzo de 2016 con el doble objetivo de dar un servicio de calidad, con una información completa y fiable del municipio, y de complementar los contenidos ofrecidos por Opendata. Es un sistema vivo, al que se van añadiendo nuevos datos a medida que se generan en el SIG.

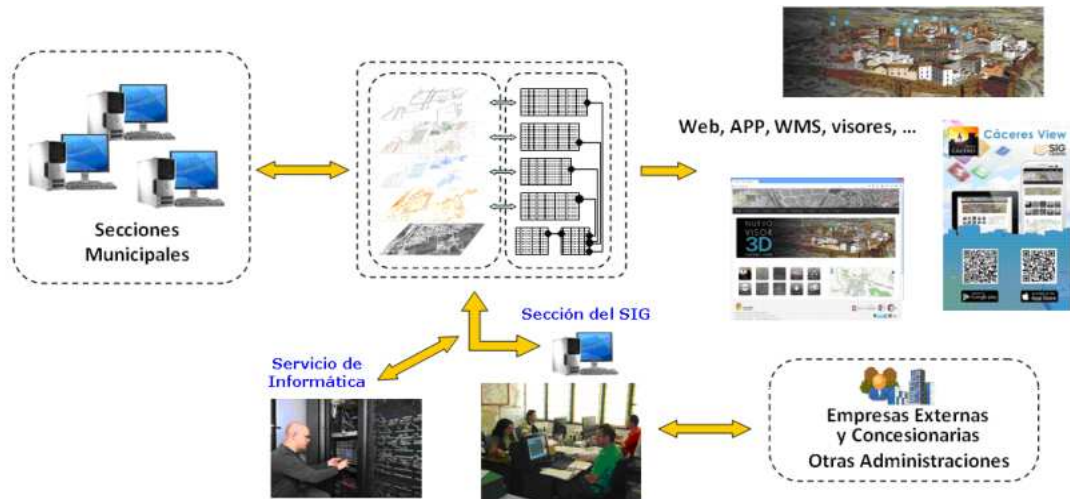


Figura 1. Esquema general del SIG de Cáceres.

LA IDE DE CÁCERES

La Infraestructura de Datos Espaciales de Cáceres (véase la figura 2) tiene como objetivo poner a disposición de los ciudadanos toda la información cartográfica y alfanumérica geolocalizada recogida en el SIG de Cáceres. Para ello, se diseña un nuevo portal web de acceso a los datos y a los servicios de la IDE de una forma clara y directa siguiendo las recomendaciones de la directiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) y los estándares OGC (Open Geospatial Consortium) que regulan y garantizan la interoperabilidad de la información geográfica.



Figura 2. Geoportal de IDE Cáceres (<http://ide.caceres.es>).

La IDE Cáceres pretende crear un punto de acceso libre y gratuito a la información geográfica y datos públicos del municipio de Cáceres en distintos formatos, para que puedan ser consultados y reutilizarlos con el fin de fomentar la creación de nuevos servicios y contenidos, como la generación de aplicaciones web multiplataforma (visualizadores) o de APP para móviles y tabletas que muestre los mapas y recuperen la información geográfica suministrada por la IDE de Cáceres.

La idea de crear una IDE tomando como base el SIG municipal surge a partir de la plataforma que se crea para la implementación de la APP Cáceres View, que se plantea como un

escenario multiplataforma basado en la API abierta de NASA World Wind, al que se añaden capas WMS y GeoJSON. Éstas últimas serían capas provenientes del SIG de Cáceres, por lo que se hacía imprescindible la implementación de un servidor que publicara los contenidos necesarios en estos formatos.

El geoportal del municipio de Cáceres queda estructurado con los siguientes accesos: Catálogo de Datos y Metadatos, Servicios WMS, Visores y APPS.

CATÁLOGO DE DATOS Y METADATOS

El SIG de Cáceres alberga múltiple información geográfica (ortofotos, cartografía ráster y vectorial) en distintos formatos e interrelacionada en la mayoría de los casos con datos alfanuméricos recogidos en tablas integradas en la base de datos corporativa municipal en ORACLE 11g. Dado que todo el sistema se sustenta en herramientas de Bentley, el formato de ficheros habitual es el DGN.

Para confeccionar el catálogo de datos de la IDE (véase la figura 3) los ficheros originales DGN se transforman a distintos formatos: DWG, SHP, GeoJSON, KMZ, GPX... Y para el caso de imágenes ráster se transforman a GeoTiff, ECW y PDF. Para llevar a cabo estas transformaciones se han empleado las herramientas propias de Bentley Map. En algunos casos los datos se recuperan directamente del portal Opendata Cáceres, por ejemplo los archivos GeoJSON.

Todos los datos publicados en el catálogo están a disposición del usuario para su descarga bajo licencia Creative Commons Reconocimiento 3.0.

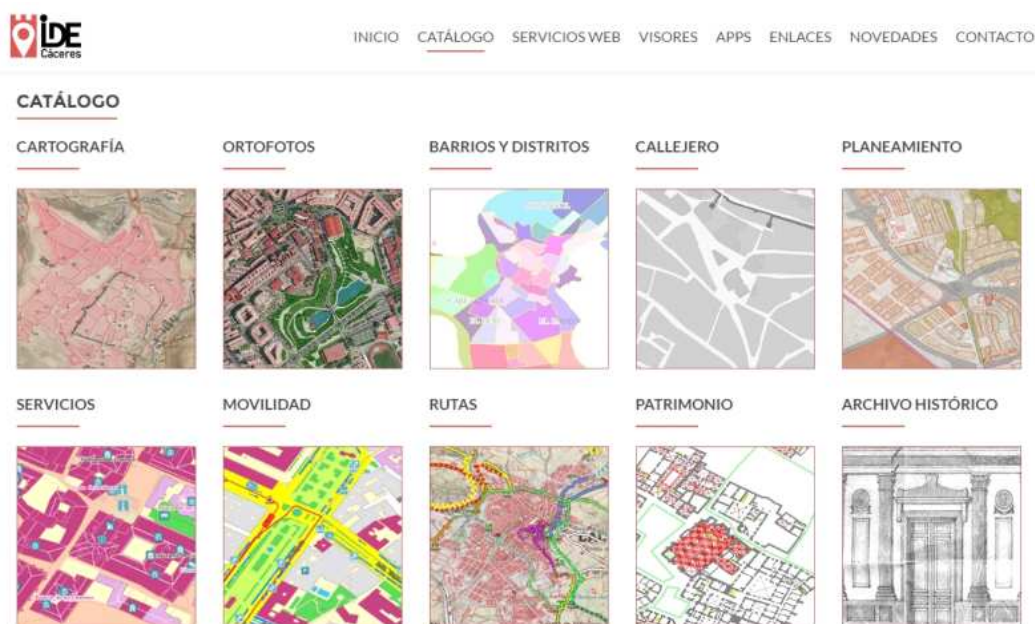


Figura 3. Aspecto del Catálogo de Datos en IDE Cáceres.

Los contenidos son muy variados y se estructuran en 10 grandes bloques: Cartografías del municipio y de la ciudad de Cáceres de distintos años y en diferentes escalas, Ortofotos del núcleo urbano y del municipio desde el año 1961, la distribución de los barrios y los distritos. El callejero de la ciudad y de las tres pedanías (calles y números), planeamiento urbanístico, servicios de la ciudad (centros administrativos, de enseñanza, sanitarios, farmacias, servicios turísticos...), movilidad urbana (carriles bici, estacionamientos para motos, plaza de movilidad reducida, parkings, zona azul, puntos de acceso a la ciudad monumental y estacionamientos reservados a los residentes), Las rutas (rutas verdes, del patrimonio y gastrorutas), el patrimonio arquitectónico y el Archivo Histórico, que incluye información procedente del

Archivo Histórico Municipal de Cáceres como la geolocalización de fotografías antiguas y los expedientes de obra hasta 1950.

Cartografía



En este apartado encontrarás el catálogo de datos de las distintas cartografías que dispone la Infraestructura de Datos Espaciales de Cáceres. Clasificados en las siguientes categorías:

CARTOGRAFÍA 2012



CARTOGRAFÍA 2008



CARTOGRAFÍA 2003



CARTOGRAFÍA 1996



CARTOGRAFÍAS HISTÓRICAS



Rutas



10 RUTAS POR CÁCERES

Se muestra el recorrido de las rutas y consultas de su información en formato PDF. [+ info](#)

Formatos: [SHP](#) [GPX](#) [KML](#) [JSON](#)

Metadatos: [HTML](#) [XML](#)



RUTAS GASTRONÓMICAS 2015

Se muestra la localización de los contenidos que se representan en el *gastro.wapa* editado por Cáceres capital de la gastronomía es con motivo de Cáceres capital de la gastronomía 2015.

Formatos: [SHP](#) [KML](#) [JSON](#)

Metadatos: [HTML](#) [XML](#)



RUTAS PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

Se muestra el recorrido de las rutas y consultas de su información en formato PDF de las trece rutas por Cáceres. [+ info](#)

Formatos: [SHP](#) [GPX](#) [KML](#) [JSON](#)

Metadatos: [HTML](#) [XML](#)



Figura 4. Aspecto del Catálogo de Datos Cartografía y Rutas.

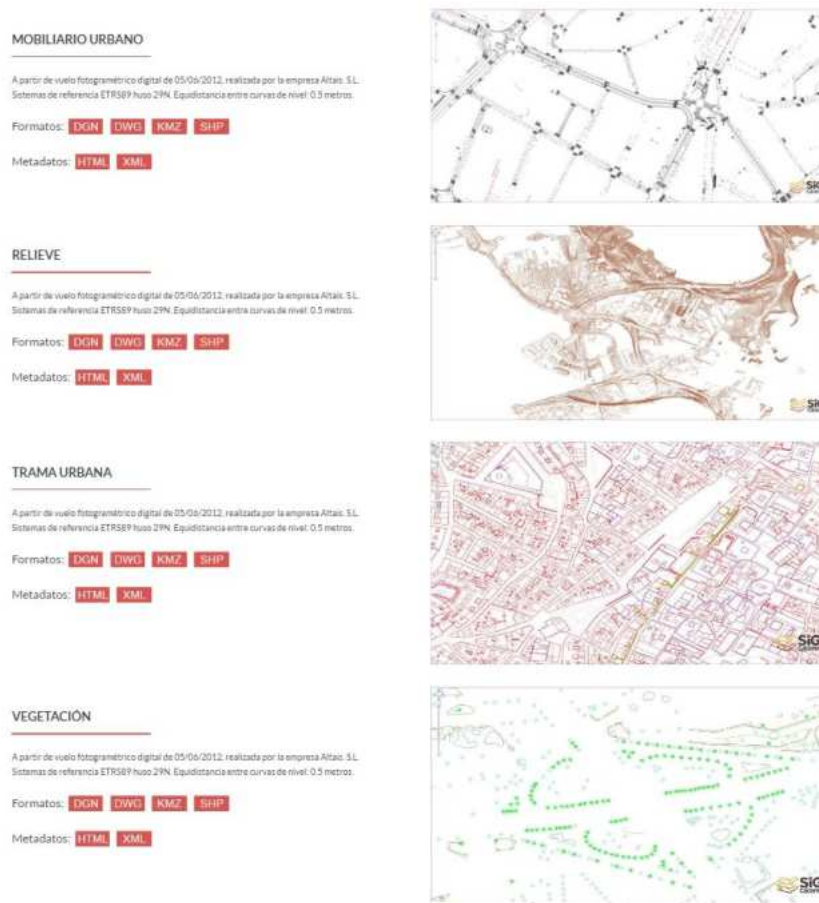


Figura 5: Catálogo de Datos de la Cartografía de 2012.

El Catálogo de los metadatos se publica en formato HTML y XML. Se ha creado con el editor de software libre CatMDEdit, que facilita la documentación de recursos, con especial interés en la descripción de recursos geográficos.

SERVICIOS WMS

La IDE Cáceres pone a disposición de cualquier usuario los enlaces a los distintos servicios en formato WMS que dispone la IDE de Cáceres. El WMS tiene como objetivo el poder visualizar los mapas de la IDE de Cáceres en otros visualizadores como los visualizadores de la IDEEX (IDE de Extremadura) o en los nacionales de la IDEE o en APPs para dispositivos móviles que quieran tener como base del territorio los mapas de la IDE.

Los servicios de mapas se publican con Geoserver, (véase la figura 6 y 7). En este momento están disponibles 810 almacenes de datos, 794 capas y 489 estilos, en formatos SHP y GeoTiff. Para mejorar el rendimiento del servidor y atender a las peticiones de forma más ágil, se han cacheado 71 capas y grupos de capas. Los datos se publican en el sistema de referencia de coordenadas EPSG: 4326.

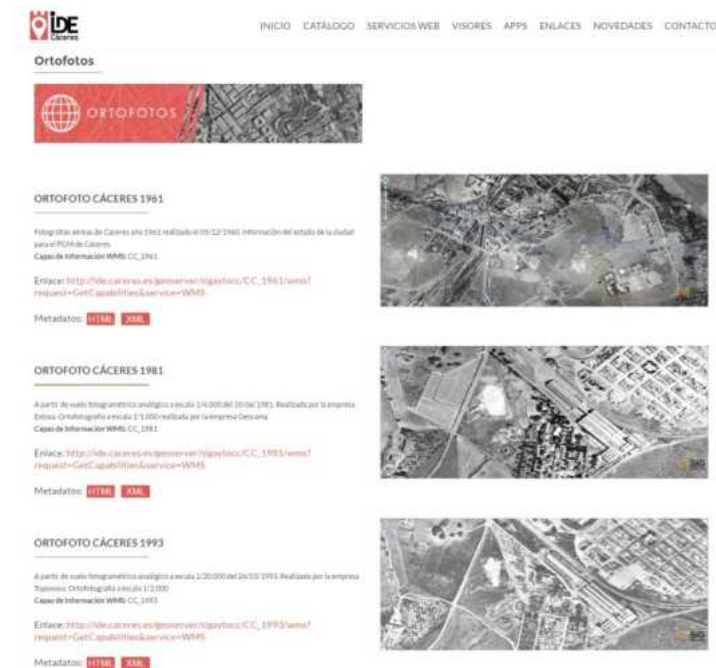


Figura 6. Servicios WMS de Ortofotos de IDE Cáceres.

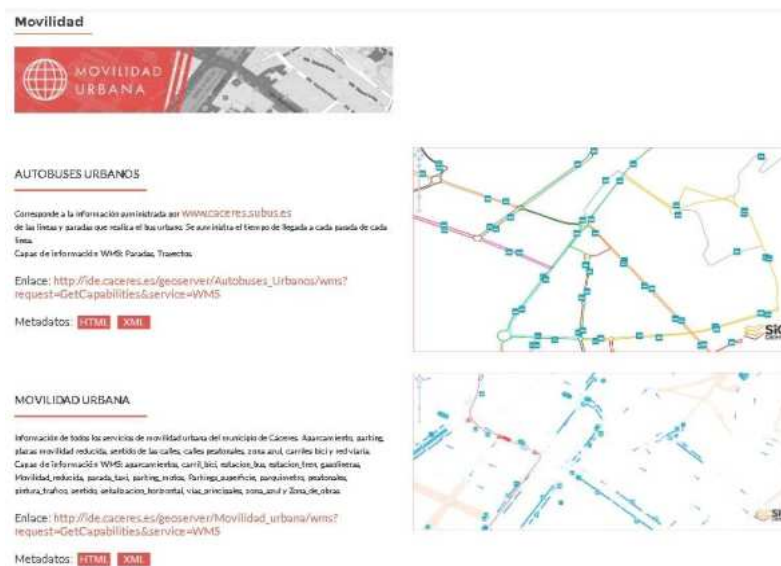


Figura 7: Servicios WMS de Movilidad Urbana de IDE Cáceres.

VISUALIZADORES

Los visualizadores (véase la figura 8), permiten representar y superponer mapas, ortofotos y elementos geolocalizados procedentes de distintas fuentes, ya sean de la propia IDE Cáceres como de otros servidores de mapas que tengan información del territorio correspondiente al municipio de Cáceres, como la IDE de Extremadura, la IDE de España, el Catastro, etc.



Figura 8. Aspecto del acceso al portal de visualizadores de la IDE de Cáceres.

Desde IDE Cáceres se han creado diferentes visualizadores en función de la temática a tratar. Se han clasificado en tres grandes bloques:

VISUALIZADORES 2D

Están programados en Heron Mapping Client, (véase la figura 9), librería de código abierto que facilita la creación de aplicaciones web map para navegadores con el kit de herramientas basado en JavaScript GeoExt. Estos visores multiplataforma implementan búsquedas por calles y número, por topónimo, permiten activar y desactivar capas, hacerlas transparentes, realizar mediciones, etc. Son más pesados y están optimizados para su uso en equipos de sobremesa.

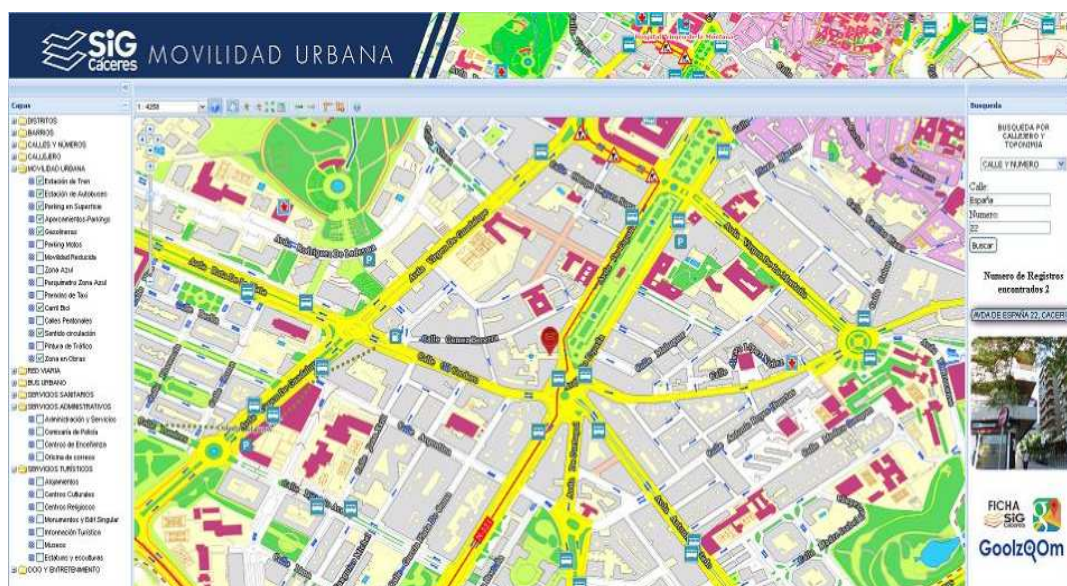


Figura 9: Visor de Movilidad programado con Heron

VISUALIZADORES SIMPLIFICADOS

Programados con las APIs de Openlayers 3 y Leaflet (véase la figura 10), dos librerías JavaScript de código abierto que permiten crear y visualizar mapas interactivos a través de cualquier navegador web. Son más ligeros que los anteriores, y están optimizados para móviles.

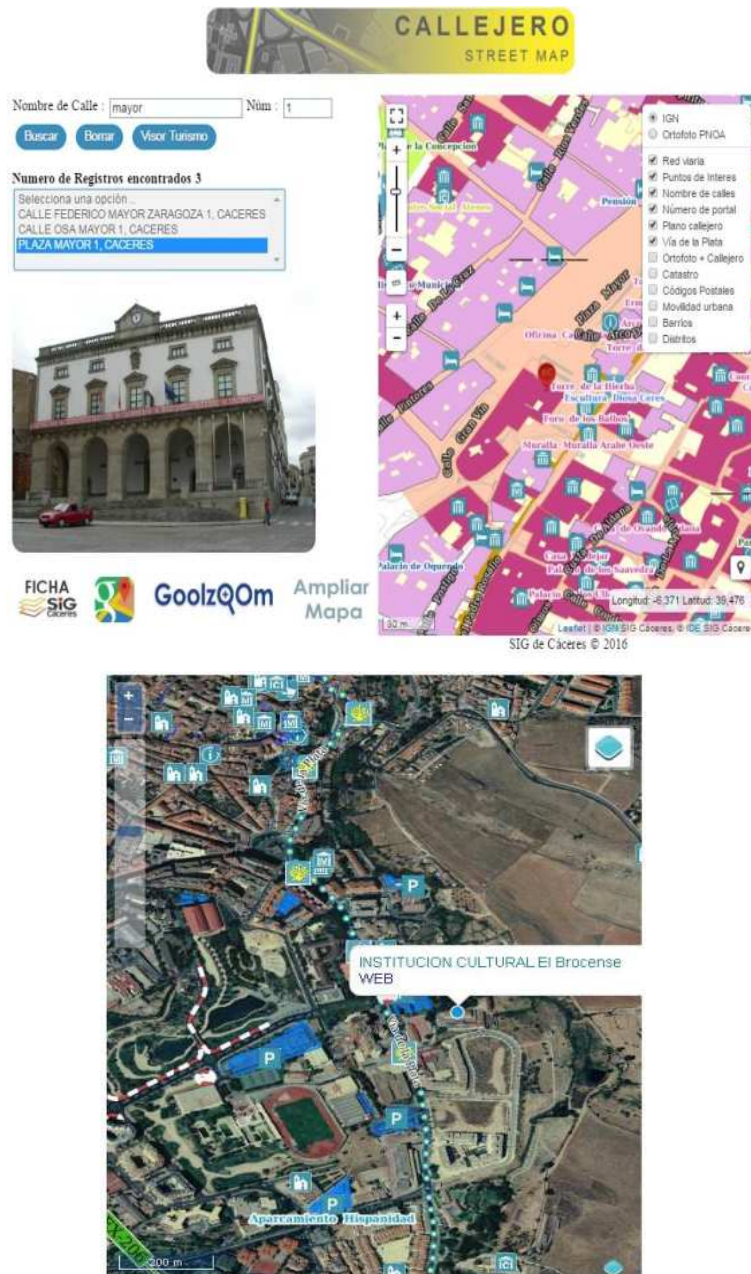


Figura 10. Izquierda, visor del Callejero con Leaflet. Derecha, visor Turístico con Openlayers 3.

VISUALIZADORES 3D

Actualmente disponibles dos, el Visor 3D de Cáceres Histórica (véase la figura 11 y 12), basado en la API de Google, con la evolución de la ciudad desde la época Romana hasta la actualidad. Se pueden ver contenidos procedentes del Archivo Histórico Municipal como fotos históricas, escudos, expedientes de obra, etc. Para poder ejecutarlo se necesita tener instalado el complemento Google Earth.



Figura 11. Visor 3D Cáceres Histórica basado en API de Google. Consultas inventario fotos y plano de plantas.



Figura 12. Visor 3D Cáceres Histórica. Se muestra cartografía 1 /1000 de 1931 con el inventario de escudos.

Un caso especial es el visor 3D Cáceres View (véase la figura 13 y 14), por ahora disponible sólo para Windows y que dada la potencia de procesador que requiere sólo funciona en equipos sobremesa. Permite visualizar una ortofoto del TM de Cáceres sobre el Modelos Digital del Terreno, con los edificios en 3D, y con la ciudad monumental texturizada. Para poder ejecutarlo se necesita la máquina virtual de JAVA.



Figura 13: Visor 3D Cáceres View.



Figura 14: Detalle de pantalla en el Visor 3D Cáceres View.

Todos los visualizadores implementados utilizan servicios WMS y GeoJSON organizados en capas y permiten recuperar información de un elemento procedente de la base de datos del SIG pinchando sobre el mismo. De esta forma, cualquier modificación en la base de datos inmediatamente está disponible en todos los visualizadores, incluso en las APP.

APP CÁCERES VIEW Y CÁCERES HISTORICA

A mediados de 2013, y para adaptarse a las nuevas tendencias, se ponen en servicio varias aplicaciones para plataformas móviles, tanto para Android como para IOS, que permiten llevar una parte del SIG en el móvil o en la tableta (véase la figura 15).



Figura 15. Distintas aplicaciones APP del SIG de Cáceres.

Desde el 19 de Septiembre de 2016 está disponible una nueva versión de Cáceres View (véase las figuras 16, 17 y 18), con nuevos contenidos y una interfaz renovada. Esta nueva versión permite cambiar el escenario y actualizar los contenidos sin necesidad de actualizar la APP, gracias al diseño de una aplicación web denominada «generador de escenarios», que permite a los usuarios decidir en tiempo real qué contenidos ver de entre los disponibles en la APP, y al equipo de desarrollo del SIG modificar el número y contenido de los escenarios a medida que los datos se vayan actualizando en el propio sistema.



Figura 16. Aspecto nueva APP Cáceres View para Android.

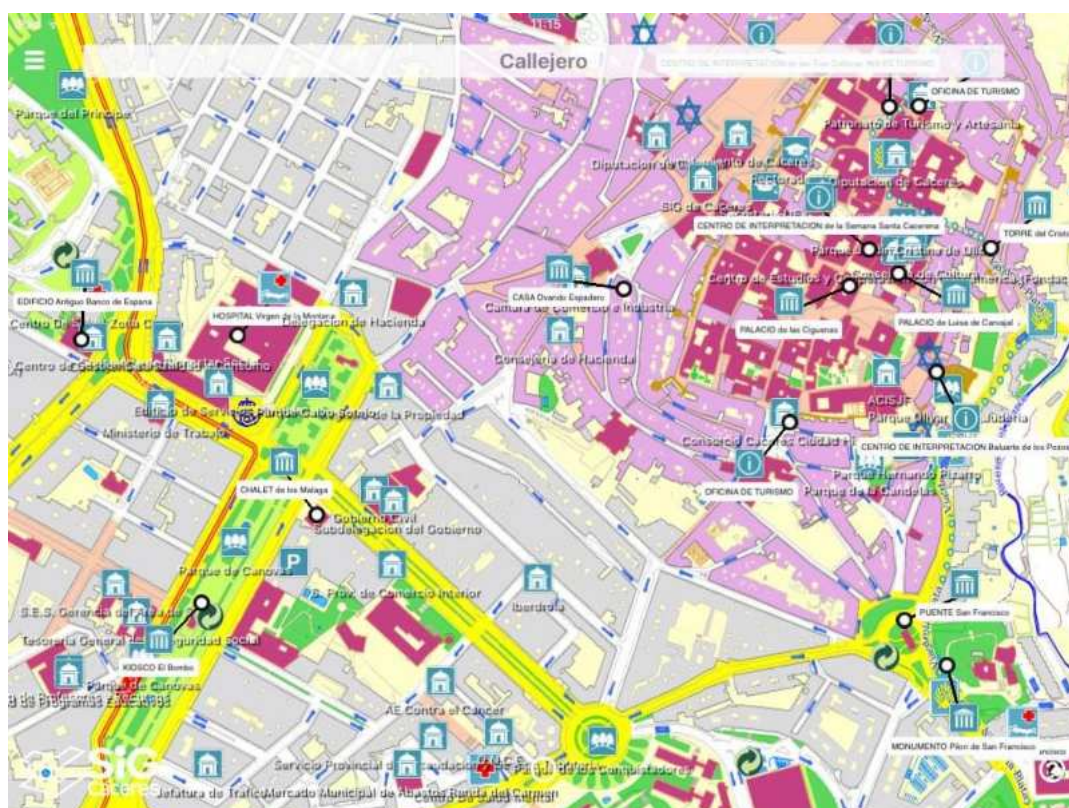


Figura 17. Aspecto nueva APP Cáceres View para IOS. Escenario del Callejero



Figura 18. Aspecto nueva APP Cáceres View para IOS. Escenario del Patrimonio y Archivo Histórico.

LA IDE DE CÁCERES Y OPENDATA CÁCERES

El portal de datos abiertos Opendata Cáceres (<http://opendata.caceres.es>), una apuesta del Ayuntamiento de Cáceres para hacer públicos sus datos y documentos de interés para los ciudadanos (véase la figura 19).

El proyecto pretende promover la puesta a disposición de todos de los datos municipales en formatos reutilizables para el desarrollo de la sociedad de información, para fomentar la transparencia y para que las empresas puedan generar riqueza y empleo utilizando estos datos públicos para desarrollar aplicaciones.

El portal se caracteriza por ofrecer los conjuntos de datos en open linked data, con el máximo nivel de reutilización de 5 estrellas, recomendado por el W3C (véase la figura 6). Este proyecto está coordinado desde la Escuela Politécnica por el profesor Adolfo Lozano Tello.

El SIG participa aportando la mayor parte de los datos. Desde la UEx se transforman e integran en el portal. Dispone en la actualidad de un catálogo compuesto por 50 conjuntos de datos.

Pero Opendata Cáceres no resuelve completamente el problema de compartir información cartográfica. La mayor parte de los conjuntos de datos publicados actualmente en Opendata son de tipo puntual, y para su representación sobre el territorio precisan del uso de fuentes externas. Para resolver este problema se fundamental la puesta en marcha IDE Cáceres (ide.caceres.es) que tiene como principal objetivo poner a disposición de ciudadanos, empresas y administraciones el contenido del SIG de Cáceres.

De esta forma, el usuario de ide.caceres.es puede implementar sobre la plataforma que desee su propio SIG o su propio visor superponiendo capas de información geográfica procedentes de la IDE, y complementarlas con datos obtenidos del portal Opendata.



Figura 19: Aspecto portal Opendata Cáceres (<http://opendata.caceres.es>).



Figura 20: Aspecto portal Opendata Cáceres (<http://opendata.caceres.es>).

Es uno de los pocos portales a nivel nacional que ha obtenido las 5 estrellas. En 2015 obtuvo el premio a la mejor iniciativa pública extremeña otorgado por el Colegio de Ingenieros Informáticos de Extremadura (CPIIEx)

ALGUNOS DATOS TÉCNICOS DE LA IDE

Actualmente casi todos los servidores gestionados por el Ayuntamiento de Cáceres están montados sobre cabina de discos EMC VNXe 3200 con doble controladora, con una capacidad máxima de 15 TB, y con sistema de virtualización VMware vSphere 5.5.0 sobre 3 host. Y la tendencia es que a medio plazo todos los servidores se integren en esta plataforma.

Así, la IDE de Cáceres está implementada sobre un servidor virtual que cuenta con procesador de 4 CPU, 16 GB de RAM y una capacidad máxima de almacenamiento de 134 GB. Después de probar con Windows Server, finalmente se apostó por la distribución Linux Ubuntu v14.04.3 LTS Trusty como sistema operativo, sobre el que corren Apache v2.4.7, Tomcat v7.0.52 y PHP v5.5.9.

Para servir los mapas se confía en Geoserver, actualmente está instalada la versión 2.8.1.

Finalmente, para la implementación de la web se está usando WordPress versión 4.5.3, con la plantilla zerif lite versión 1.8.4.5.

Como la capacidad del servidor virtual es limitada, y dado el alto coste del almacenamiento en la cabina de discos, se ha optado por una NAS de 4 TB donde se guardan todos los datos gestionados por la IDE, dejando al almacenamiento en el servidor virtual para las caches y los datos más usados o menos pesados. Así, las ortofotos y cartografías están en la NAS, pero los niveles «cacheados» están en la cabina de discos.

Para la creación de los metadatos se ha empleado la última versión de CatMDEdit.



Figura 21: Aspecto general del esquema de la IDE de Cáceres.

EL FUTURO

Para los próximos meses se plantean varias líneas de actuación, algunas de ellas ya en proceso de ejecución, como por ejemplo la actualización de inventario fotográfico de calles, portales, lugares y edificios de interés, etc., que supone volver a realizar cerca de 30.000 fotografías.

Para mejorar el acceso a los metadatos de la IDE se va a crear un servicio de catálogo por localización de formatos (para ello se va a usar Geonetwork) y una nueva aplicación para dar solución a los inconvenientes que ocasiona la transformación de los datos nativos a otros formatos.

El SIG de Cáceres va a ser una pieza fundamental en el proyecto denominado «Cáceres Patrimonio Inteligente», que recientemente ha sido dotado por RED.ES con 3,8 millones de euros en la Convocatoria de ayudas para el desarrollo del Programa de Ciudades Inteligentes. Tiene como finalidad general mejorar la gestión del turismo de la ciudad. Toda la información que se genere va a ser almacenada, distribuida y visualizada en los portales del SIG, de Open data y de IDE Cáceres.

A finales de 2015 se presentó un proyecto a la primera convocatoria del INTERREG V-A España – Portugal (POCTEP) 2014-2020 para el desarrollo y mejora de la IDE de Cáceres, y la ampliación a todas las ciudades del grupo TRIURBIR (Cáceres, Plasencia, Castelo Branco y Portalegre) de los servicios ofrecidos. A finales de este 2016 está previsto que comiencen a adjudicarse estos proyectos. Si se consigue la financiación solicitada, la idea es ampliar tanto la capacidad como la potencia del servidor para poder dar cabida a muchos más datos, así como mejorar las comunicaciones para garantizar una velocidad de respuesta adecuada.

En cuanto a mejoras de contenidos, a lo largo de los próximos meses se va a aumentar el catálogo de servicios WMS, potenciando la IDE como portal de comunicación con el exterior.

CONCLUSIONES

El SIG de Cáceres es una potente herramienta puesta en marcha por el Ayuntamiento hace ahora 21 años, que con el paso del tiempo se ha convertido en una fuente de información básica

para el trabajo diario de muchos técnicos y en un referente para consultas de muchos ciudadanos.

Está en continuo cambio y renovación y pretende estar siempre a la vanguardia de la región en el uso de las nuevas tecnologías para acercar la administración municipal a todos los ciudadanos.

La puesta en marcha de la IDE de Cáceres sitúa al municipio como referente en el acceso a la información geográfica al más alto nivel siempre cumpliendo con las premisas de ofrecer un servicio de calidad, con una información completa y fiable del municipio, y de complementar los contenidos ofrecidos por OpenData Cáceres. La IDE de Cáceres es un sistema vivo, al que se van añadiendo nuevos datos a medida que se generan en el SIG.

EL EMPLEO DE LOS SIG PARA ANALIZAR EL ENVEJECIMIENTO DEMOGRÁFICO EN EXTREMADURA Y SU IMPLANTACIÓN EN EL MEDIO RURAL Y URBANO

Celeste García Paredes ¹

¹ Universidad de Extremadura, Dpto. de A. y Ciencias del Territorio. celeste@unex.es

RESUMEN

El empleo de las técnicas SIG en los estudios de carácter sociodemográfico ha ido adquiriendo especial relevancia a lo largo de las últimas décadas y es en esta premisa en la que se basa este trabajo, analizando los cambios más profundos en la estructura de la población y plasmando los resultados en una cartografía temática. A mediados del siglo pasado la población extremeña se vio drásticamente reducida por una fuerte sangría emigratoria de los efectivos más jóvenes, que deparó en la aceleración del envejecimiento poblacional. Este cambio demográfico llevaba enmascarado otro proceso de índole territorial, se trata de la ruralización del territorio extremeño con el incremento del número de núcleos rurales a media que avanzaba el siglo XX, creando entornos rurales más frágiles y copados por una población envejecida, sobrevenida por la falta de reposición. Las técnicas de información geográfica nos ayudarán a plasmar cartográficamente la evolución de ambos procesos: la ruralización del territorio extremeño y el avance del envejecimiento demográfico, tanto en el entorno rural como en el urbano.

Palabras claves: SIG, envejecimiento, Extremadura.

ABSTRACT

The use of Geographical Information Systems (GIS) is a common technique conducted in demographic research. So GIS is used in this study aiming to properly understand the most important changes in population during the last century in the region of Extremadura (Spain). The population of Extremadura was drastically reduced because a strong emigration of younger people, particularly in the second part of the twentieth century, which resulted in the acceleration of population aging. These demographic changes have coexisted with other processes occurred in the rural areas such as the increase in the number of small town. Concretely we have analyzed two processes: the increase of the number of rural communities and the increasing or decreasing trend to aging in the rural and urban population, respectively.

Key words: GIS, aging, Extremadura.

INTRODUCCIÓN

El siglo pasado trajo consigo un proceso demográfico hasta el momento desconocido se trata del envejecimiento demográfico. El fortísimo incremento del colectivo de mayores que sobrevino a partir de los años sesenta del pasado siglo en el caso de la región extremeña (García, 2013), hay que atribuirlo al continuo descenso que experimentaron las tasas de mortalidad a lo largo del siglo XX, gracias a la difusión de los medicamentos y a unas mejoras higiénico-sanitarias (Buendía, 1997). Aunque uno de los principales factores de este incremento del grupo de población anciana, ha sido el aumento de la esperanza media de vida de las personas hasta alcanzar edades muy avanzadas (Edwards, 2001; Espina, 2004; Rico e Infante, 2004), alargando la esperanza de vida una media de 15 años más para las personas que llegan a alcanzar la edad de 65 años, suponiendo una mayor presión sobre la estructura demográfica, con el engrosamiento de la cúspide de la pirámide de población.

Habida cuenta de que este proceso de envejecimiento demográfico está ya inserto en Extremadura, con un índice de envejecimiento de un 130,3 % en el año 2015 (15 puntos porcentuales por encima de la media nacional), esto significa que por cada 100 menores de 16 años había un total de 130 mayores de 65 años. Lo que se pretende con este estudio es determinar cuándo se produjo el cambio en la estructura de los grandes grupos de población a favor del colectivo de mayores, así como datar este proceso y cartografiarlo. En este primer análisis, la escala de trabajo elegida será la provincial y municipal, para pasar a una mayor escala de detalle en el estudio posterior. Con la finalidad de analizar el grado de envejecimiento a una escala inframunicipal y de este modo determinar el modelo de comportamiento de localización del colectivo de mayores en el entorno rural y urbano.

En la segunda parte del estudio se parte de la tesis de que son los núcleos menos poblados los más envejecidos, puesto que su débil crecimiento natural impide el crecimiento de su población y engrosa el volumen del colectivo de mayores acelerando el proceso de envejecimiento demográfico (García y Nieto, 2012; Pérez y García 2013). A lo que se une la falta de oportunidades laborales que presenta el medio rural, convirtiéndose en un factor de repulsión de la población activa y joven de los municipios con una menor entidad poblacional (Nieto y Gurría, 2005). Prueba de ello es la pérdida constante de población que llevan experimentando los núcleos rurales menores de 2.000 habitantes en la región extremeña, pasando de concentrar a un total de 231.708 habitantes en 1981 a tan solo 217.369 en el año 2011, según los últimos Censos de Población publicados por el INE. Motivos más que suficientes que llevan a tratar de delimitar el envejecimiento y de localizar las áreas urbanas y rurales más afectadas por este proceso demográfico, con el objetivo final de plasmar los resultados obtenidos en una cartografía temática utilizando como método principal las técnicas SIG.

A la hora de comenzar con el análisis estadístico previo, se parte de un planteamiento que confiere unos rasgos de identidad muy específicos a la región extremeña, se trata de la gran extensión superficial que registra y el escaso número de habitantes que alberga. Estamos ante un territorio donde tan solo siete núcleos superan los 20.000 habitantes y concentran el 40% de la población extremeña. Estas características demográficas y territoriales mencionadas van a marcar la concentración de población y la distribución del proceso de envejecimiento demográfico en nuestra región (García, 2009, 2013).

EL PASO DE UNA ESTRUCTURA JOVEN A UNA ENVEJECIDA: ANÁLISIS A TRAVÉS DE LOS SIG

En Extremadura las primeras décadas del siglo pasado estuvieron marcadas por el predominio del grupo de población joven y adulta frente al colectivo de mayores de 65 años, como signo característico de una estructura de la población joven. A principios del siglo pasado, el grupo de población menor de 15 años aglutinaba a un total de 291.304 jóvenes, cifra que fue incrementándose a lo largo de las décadas siguientes, hasta alcanzar su máxima en la década de los sesenta con un total de 409.534 individuos menores de 15 años. Es decir, en poco más de medio siglo la población joven se había incrementado en un 40 %, gracias a la drástica

reducción de la mortalidad infantil y a las mejoras higiénico-sanitarias, que provocaron el incremento de las tasas de natalidad y por ende el aumento del número de personas menores (Almarcha et al., 2001).

Pero la evolución del grupo de menores a partir de 1960 fue bastante diferente. Si hasta entonces no había parado de crecer, a partir de esta fecha la evolución estuvo marcada por el descenso constante de este grupo de población. Se produjo una reducción estrepitosa del número de menores que tuvo como principal causante la emigración de las generaciones fecundas de nuestra región, que se dirigían hacia los principales focos de desarrollo industrial de España y algunos países de centro Europa donde la mano de obra barata era necesaria (Pérez, 2006). Posteriormente, a partir de aproximadamente la segunda mitad de los años setenta la caída de la fecundidad se convirtió en la principal causante de que se registraran estos valores tan bajos (Almarcha et al., 2001). De tal forma que, el grupo de población menor de 15 años pasó de englobar a un total de 409.534 individuos en 1960, a tan sólo sumar un total de 160.150 menores de 15 años en el 2011 (ver tabla 1), en tan sólo cincuenta años el colectivo de menores se había reducido a la mitad.

Tabla 1. Evolución de la estructura de la población por grandes grupos de edad de Extremadura. Datos absolutos y relativos (1900-2011).

AÑOS	DATOS ABSOLUTOS			DATOS RELATIVOS (%)		
	< 15 años	16 - 64 años	> 65 años	< 15 años	16 - 64 años	> 65 años
1900	291.304	548.958	42.148	33,0	62,2	4,8
1910	329.636	604.794	56.561	33,3	61,0	5,5
1920	352.474	642.443	59.740	33,4	60,9	5,4
1930	373.261	713.387	65.526	32,4	61,9	5,4
1940	402.070	780.544	71.310	32,1	62,2	5,7
1950	402.069	876.174	86.614	29,5	64,2	6,3
1960	409.534	862.539	106.999	29,7	62,5	7,6
1970	335.117	711.227	123.010	28,7	60,8	10,5
1981	261.974	660.056	142.947	24,6	62,0	13,4
1991	219.535	679.859	162.458	20,7	64,0	15,3
2001	172.898	683.618	201.987	16,3	64,6	19,1
2011	160.150	731.864	212.483	14,5	66,2	19,3

Fuente: INE: Censos de Población. Elaboración propia.

El grupo de población adulta -de 16 a 64 años- siguió la misma tendencia que el colectivo de jóvenes, experimentando un crecimiento espectacular hasta la década de los sesenta del pasado siglo. Pasando de aglutinar un total de 548.958 individuos a registrar la máxima de todo el siglo XX con un total de 876.174 personas, produciéndose un incremento de un 60 % con respecto a principios del siglo XX. La masa laboral, es decir, la población activa se incrementó rápidamente provocando una fuerte presión sobre los escasos recursos que tenía la región extremeña por esta época, provocando la expulsión de estas generaciones jóvenes y fecundas hacia otras regiones donde se estaba produciendo un fuerte crecimiento industrial (Pérez y Barrientos, 2005). El resultado fue el descenso del grupo de población adulta a partir de la década de los 50, pero que sería mucho más acusado a partir de los sesenta. Este descenso se alargaría hasta la década de los ochenta, donde el grupo de población adulta reunía un total de 660.056 individuos, se había producido un descenso de un 25 % con respecto a la década de los 50. A partir de los años ochenta se observa un ligero incremento de este grupo de población, produciéndose un aumento de 71.808 efectivos en treinta años, de tal forma que, en el último Censo de Población de 2011 el grupo de población adulta aglutinaba a un total 731.864 efectivos.

Una tendencia bien diferente ha seguido el grupo de población mayor a lo largo del pasado siglo XX, donde el colectivo de mayores de 65 años no ha parado de incrementarse de una manera vertiginosa. Si en 1900 este grupo de población sólo sumaba un total de 42.148 personas, en 1960 se incrementó hasta alcanzar 106.999 efectivos, pero es que en el 2011 ya aglutinaba a un total de 212.483 personas mayores de 65 años. Es decir, en sesenta años se produjo un aumento de un 154 % y en un siglo el grupo de población mayor de 65 años casi se ha quintuplicado.

En resumen, tras este exhaustivo examen de la distribución de los grandes grupos de población, se puede afirmar que la principal característica de la evolución de los tres grandes grupos de edad durante el pasado siglo XX es la pérdida de importancia relativa del grupo de edad menor de 15 años frente al incremento de representatividad del grupo de población mayor de 65 años, acentuándose el proceso de envejecimiento demográfico (Sancho et al., 2001). Pero este proceso no tuvo la misma intensidad a lo largo del pasado siglo, si no que va a ser a partir de los años cincuenta y sesenta, cuando se acentúe la pérdida del peso del grupo de población menor y el incremento del peso del colectivo de mayores. En las cuatro últimas décadas el proceso de envejecimiento demográfico es mucho más evidente, hasta desembocar en el siglo XXI en una estructura de la población claramente envejecida donde el colectivo de mayores es más representativo que el grupo de población menor de 15 años.

Las dos provincias extremeñas van a seguir esta misma tendencia, cerrando el siglo XX con una pérdida bastante significativa del grupo de población menor de 15 años y con un incremento del peso relativo del colectivo de mayores, para comenzar el nuevo siglo XXI con una mayor representatividad del colectivo de mayores frente al de menores. Eso sí, en la provincia de Cáceres el colectivo de mayores tiene un peso superior que en la provincia de Badajoz y el grupo de población menor es mucho menos significativo. Si se observan los mapas creados con el software ArcGIS 10.2, que muestran la evolución del grupo de población menor de 15 años y el mayor de 65 años de la provincia de Badajoz y de Cáceres a lo largo del siglo XX y XXI (ver Figura 1), se aprecia como siguen la tendencia regional y como la provincia de Cáceres presenta un proceso de envejecimiento más acentuado que la provincia de Badajoz.

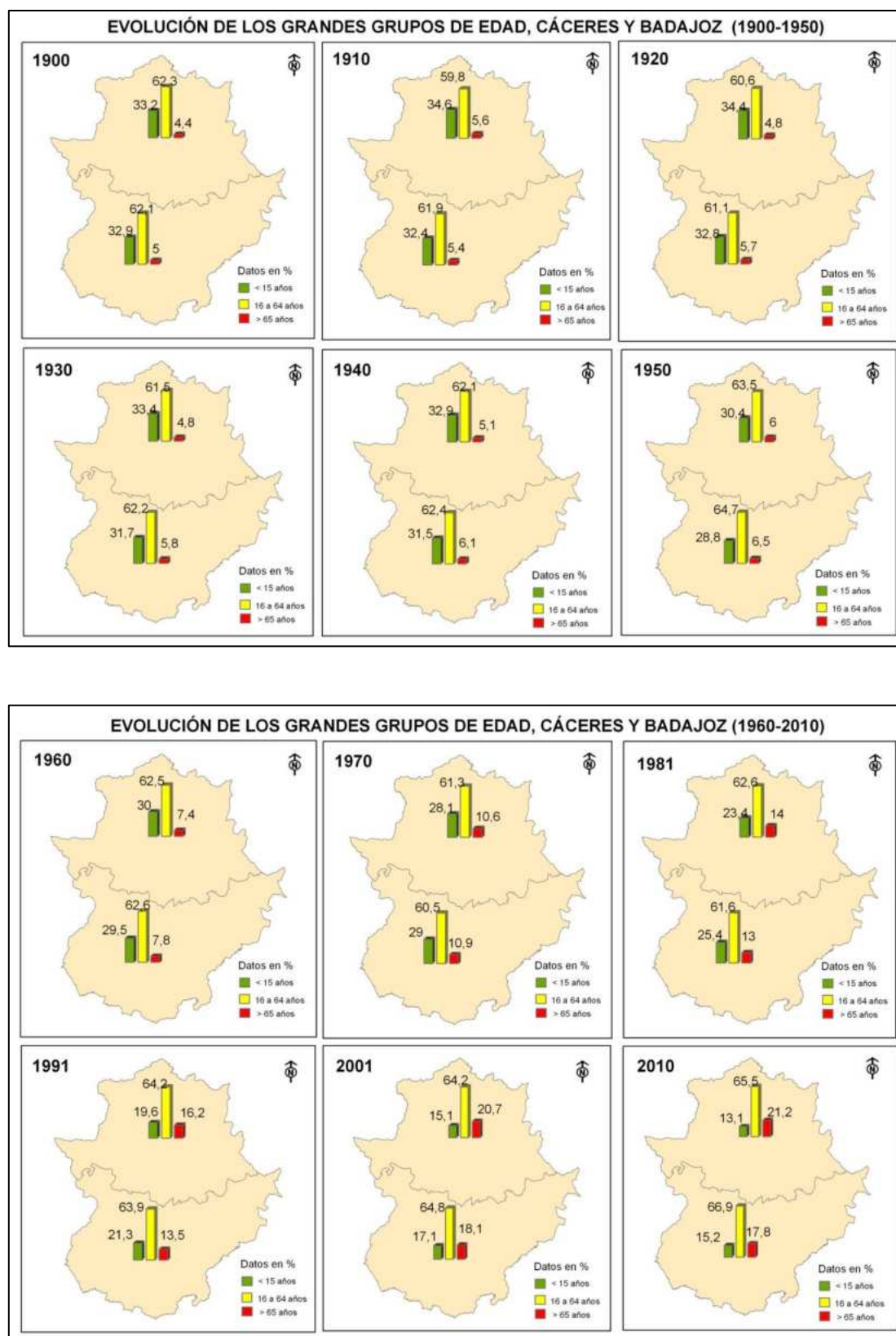


Figura 1. Evolución de los grandes grupos de población de la provincia de Cáceres y Badajoz (1900-2010).

LA RURALIZACIÓN DEL TERRITORIO EXTREMEÑO

Al mismo tiempo que el proceso de envejecimiento estaba avanzando se producía la propagación de otro suceso, pero esta vez con un carácter territorial, el número de pequeños municipios no dejaba de incrementarse. La causa principal hay que buscarla en los años sesenta del pasado siglo, que es cuando se registra una fortísima sangría migratoria que no ha vuelto a reproducirse con tanta intensidad, condicionando toda la evolución demográfica regional posterior. En 1960 sólo había 311 municipios con menos de 5.000 habitantes y, sin embargo, su población alcanzaba los 599.695 habitantes. En 1981 el número de pequeños municipios rurales se situó en 340 y se ha estabilizado en torno a los 346 a lo largo de las últimas décadas (ver Figura 2). Por el contrario, la población de estos municipios rurales no ha dejado de reducirse. Entre 1960 y 2011 el número de pequeños municipios ha aumentado en un 10,2 % y su población, en cambio, se ha reducido en un 34 %. En efecto, se ha producido una fortísima pérdida de población entre este período de tiempo, pasando de un total de 599.696 habitantes que residían en municipios menores de 5.000 habitantes en 1960, a tan sólo 402.031 habitantes en el 2011. En definitiva, cabe concluir que se está produciendo una ruralización creciente del territorio extremeño, pues "cada vez vienen siendo más los municipios que no superan el umbral de los 5.000 habitantes, cada vez viene siendo menor el volumen de población que acogen y en consecuencia, cada vez resulta más débil la densidad demográfica que soporta buena parte del territorio regional" (Pérez A., 2006).

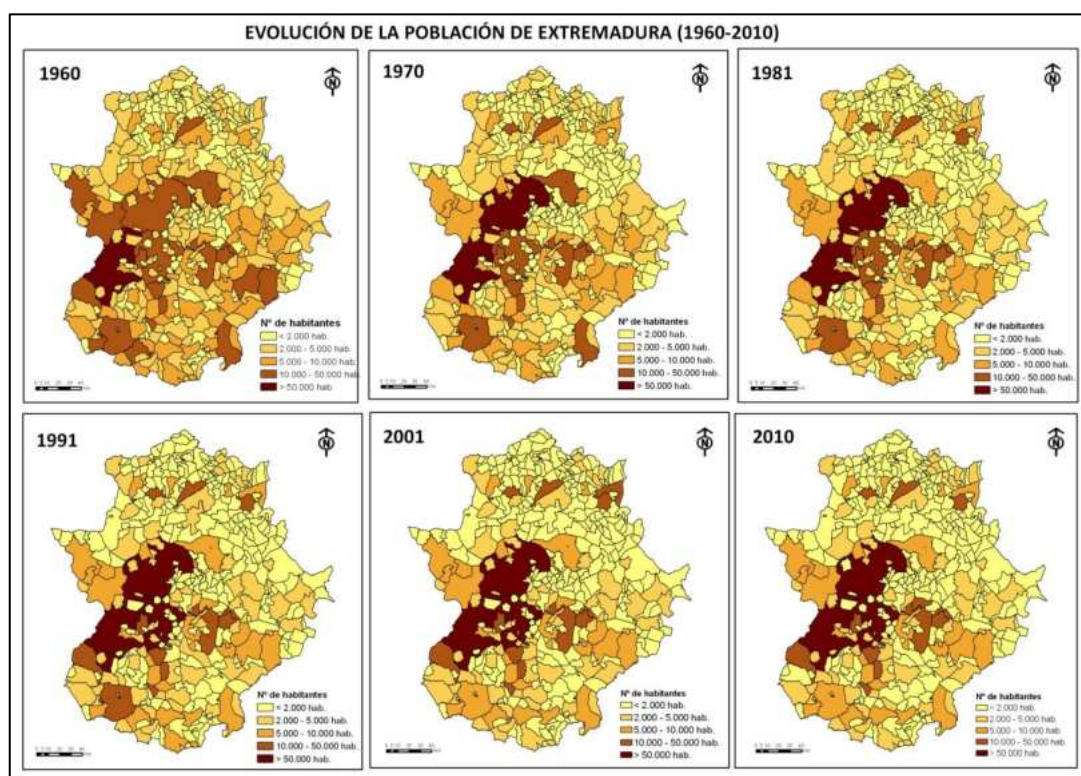


Figura 2. Evolución de la población de los municipios de Extremadura (1960-2010)

No solo la población de los municipios rurales es cada vez menor, sino que dicha población se está viendo afectada por el proceso de envejecimiento demográfico ya inserto en toda la región. Las cifras lo corroboran, siendo el porcentaje de las personas mayores de 65 años del 19 % en la región extremeña 2011, mientras que el porcentaje de las personas mayores de 65 años en los municipios rurales asciende a un 27,7 % (ver tabla 2). Pero esta diferencia es aún más patente en la distribución por sexos, donde el porcentaje de las ancianas de los municipios rurales es mucho mayor que el porcentaje regional: el primero de éstos asciende hasta un 14 % y

el segundo a un 10,8 %. La mayor supervivencia entre las mujeres durante la ancianidad es un hecho globalizado, gracias a la consecución de una mayor esperanza de vida por parte de éstas (Pérez, J., 2003). Hay que apuntar que según los datos obtenidos en nuestros análisis, la mujer anciana del medio rural es mucho más longeva que las ancianas que viven en las ciudades. Las causas posibles hay que atribuir las a una mayor integración social de las mujeres ancianas en su lugar de residencia y su mayor integración en el entorno social (familias, vecinos, amigos,...), hecho que repercute positivamente en su salud tanto física como mental, al sentirse menos solas y mantener ciertas actividades en el entorno (Pérez, L., 2004).

Tabla 2. Distribución de los grandes grupos de edad según el tamaño municipal (Extremadura)

Tamaño del municipio	Total de municipios	Población 2011	% < 16 años	% 16-64 años	% > 65 años
< 2.000 hab.	283	216.122	11,6	60,7	27,7
2.000-5.000 hab.	63	185.909	14,6	63,5	21,9
5.000-10.000 hab.	25	165.710	15,4	64,8	19,7
10.000-50.000 hab.	11	237.238	17,2	67,4	15,5
> 50.000 hab.	3	304.388	17,4	68,5	14,1

Fuente: INE: Censo de Población 2011. Elaboración propia

Como bien es sabido, las causas del envejecimiento demográfico vienen dadas por el incremento de la esperanza de vida entre la población anciana a la vez que se produce la disminución del colectivo de menores (Abellán, 2000; Sancho et al., 2001). Pues bien, en el caso de Extremadura lo que más llama la atención es la reducción que ha experimentado el grupo de los menores, pasando de una representación de un 23 % en el 2001 a tan solo un 15 % en el 2011. Pero esta diferencia se hace aún más evidente entre los municipios rurales y no rurales, en cuanto a los primeros si en el 2001 el colectivo de menores ascendía hasta un 20,9 % y diez años después se redujo hasta un 13,2 %. Es evidente que el grupo de población menor es cada vez menos representativo tanto en las sociedades rurales como urbanas de Extremadura, y que esta reducción se está produciendo muy rápidamente, en tan sólo diez años su porcentaje ha disminuido drásticamente, más aún en el medio rural extremeño.

El mayor envejecimiento de los espacios rurales extremeños es, en consecuencia, evidente. Este hecho es generalizable a la gran mayoría de los medios rurales de las provincias españolas, mucho más acusado en regiones como Asturias, Santander, Galicia, Aragón y Castilla-León (López y Sánchez, 1999; San Marín y Modino, 2003; Serrano, 2002). En el medio rural extremeño se registra un índice de envejecimiento de un 190,4 %, se sitúa claramente por encima del 123 % del conjunto regional y casi duplica el 93,7 % de los municipios con más de 5.000 habitantes, corroborando la afirmación precedente. Este índice de envejecimiento de casi un 200 % viene a significar que en los municipios rurales el colectivo de mayores duplica al de los menores. Hay que destacar aún más la situación crítica que atraviesan los municipios menores de 1.000 habitantes, donde este índice llega a alcanzar valores por encima del 1.000 % y hasta superar el 3.000 %.

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL ENVEJECIMIENTO A TRAVÉS DE LOS SIG

Una vez demostrada la existencia de una dicotomía entre los municipios más poblados y menos envejecidos frente a los menos poblados y más envejecidos, se plantea un análisis en dos grandes apartados en función de la escala espacial. En el primer apartado se va a analizar la distribución del envejecimiento demográfico por municipios, donde se hará un mayor hincapié en el estudio de las zonas rurales que son las que están más afectadas por este proceso. En el

segundo apartado se acudir  a la escala inframunicipal, concretamente a las secciones censales, para analizar los patrones de localización del envejecimiento en las zonas urbanas (Ojeda, 2011; Puerto et al. 2010; Rubiales, 2012), teniendo en cuenta a los municipios con más de 50.000 habitantes, que son Badajoz, Cáceres y Mérida.

Si se observa la Figura 3 donde se representa la relación entre el tamaño de los municipios de Extremadura y su índice de vejez, se aprecia como en los municipios más poblados el porcentaje de población mayor es más bajo, siendo los municipios más habitados los que alcanzan un índice de vejez en torno al 15%, y a medida que disminuye el tamaño de población el índice de vejez se incrementa. Otra característica que se detecta a simple vista, es que los municipios más habitados son los que est n más alejados de los valores centrales desviándose de la tendencia general. Hay que recordar que son 283 municipios los que poseen menos de 2.000 habitantes (ver tabla 2) y tan solo siete municipios los que albergan más de 20.000 habitantes, fácilmente detectables en la Figura 3 con un índice de vejez en torno al 15%. Va a ser en los municipios rurales donde el índice de vejez se dispare, registrando unos valores entre un 15% y un 45%. La dispersión es bastante acentuada, si se parte del índice de vejez de los municipios menores de 2.000 habitantes donde la media se sitúa en el 27,7%, se observa como el número de casos situados por encima y por debajo de ésta es bastante numeroso. Son cuatro municipios los que llegan a superar una cifra crítica del 50%, hablando en estos casos de sobre-envejecimiento, puesto que la mitad de la población está conformada por personas que superan los 65 años y en la mayoría de los casos la presencia de los jóvenes es prácticamente inexistente. Este es el gran problema del medio rural extremeño, la existencia de un gran número de municipios escasamente poblados y con un índice de vejez que roza unos valores insoportables para garantizar su permanencia.

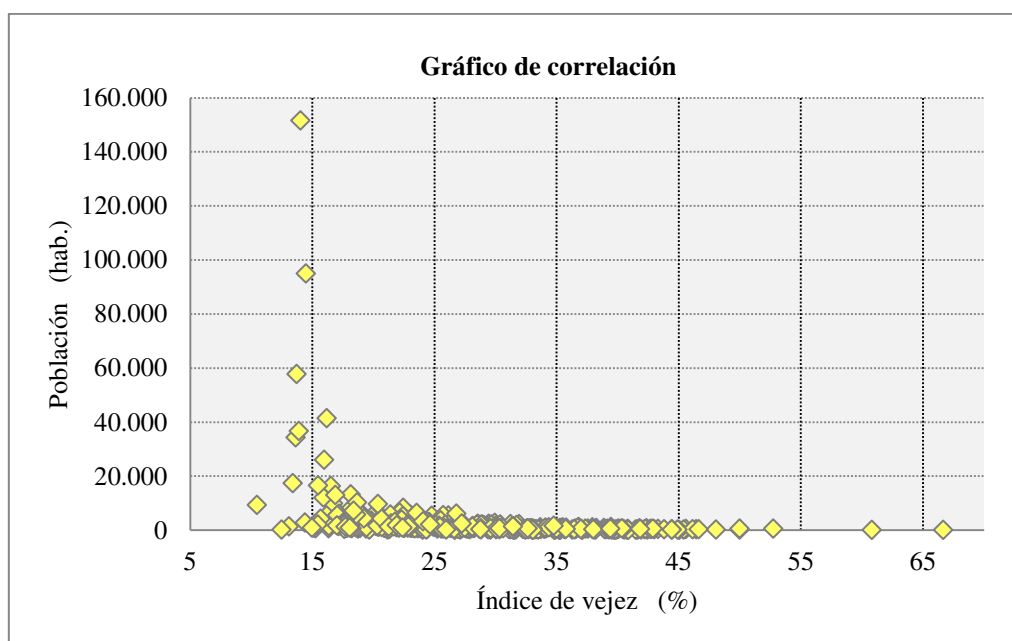


Figura 3. Gráfico de correlación entre el tamaño de los municipios de Extremadura y su índice de vejez.

A lo hora de representar estos datos y pasar a una escala gráfica, para poder entender mejor el comportamiento del envejecimiento demográfico, se han utilizado las técnicas SIG. Para realizar un estudio en profundidad del envejecimiento, como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, se debe tener en cuenta los dos causantes de este proceso: la disminución del porcentaje de jóvenes y el incremento del colectivo de mayores. Uno de los índices que mejor se adecúa a este planteamiento es el índice de envejecimiento, que relaciona el colectivo de mayores con el de menores, por ello se ha empleado este indicador para plasmar el proceso de envejecimiento en la cartografía de escala municipal e inframunicipal. Los resultados obtenidos

se reflejan en la Figura 4 donde se aprecia como el envejecimiento demográfico está mucho más extendido en la provincia de Cáceres que en la de Badajoz. Por grandes zonas en la provincia de Cáceres son Las Villuercas; Jara e Ibore; Montánchez; Monfragüe y su entorno; Sierra de Gata; Cáparra; Las Hurdes; Valle del Ambroz; algunos municipios de La Vera y Sierra de San Pedro-Los Baldíos los que alcanzan un índice de envejecimiento más elevado. Que junto a las áreas limítrofes ubicadas en el este de la provincia de Badajoz, como son La Siberia, La Serena y Campiña Sur representan las zonas más envejecidas de Extremadura, alcanzando valores por encima de la media regional, superando en muchas ocasiones el 300%. Todas las zonas mencionadas de la provincia de Cáceres se encuentran enclavadas en zonas montañosas, que son áreas tradicionalmente de expulsión de la población por la falta de oportunidades laborales debido a las malas condiciones agropecuarias y a la inexistencia de una red empresarial (Nieto y Gurría, 2008).

Esta población anciana requiere una serie de atenciones sanitarias, sociales y afectivas que deben ser convenientemente atendidas. Es aquí donde se crea un nuevo campo de acción para los municipios rurales. Los ancianos no son unos potenciales clientes en cuanto a la demanda de ciertos recursos, como sí lo son los jóvenes, pero se podría optar por un nuevo enfoque basado en la atención a las necesidades de las personas mayores del medio rural. Se convertiría en una línea generadora de empleo en un medio rural poco habitado y con escasas posibilidades de un desarrollo económico (Cózar, 2005; Márquez, 2002).

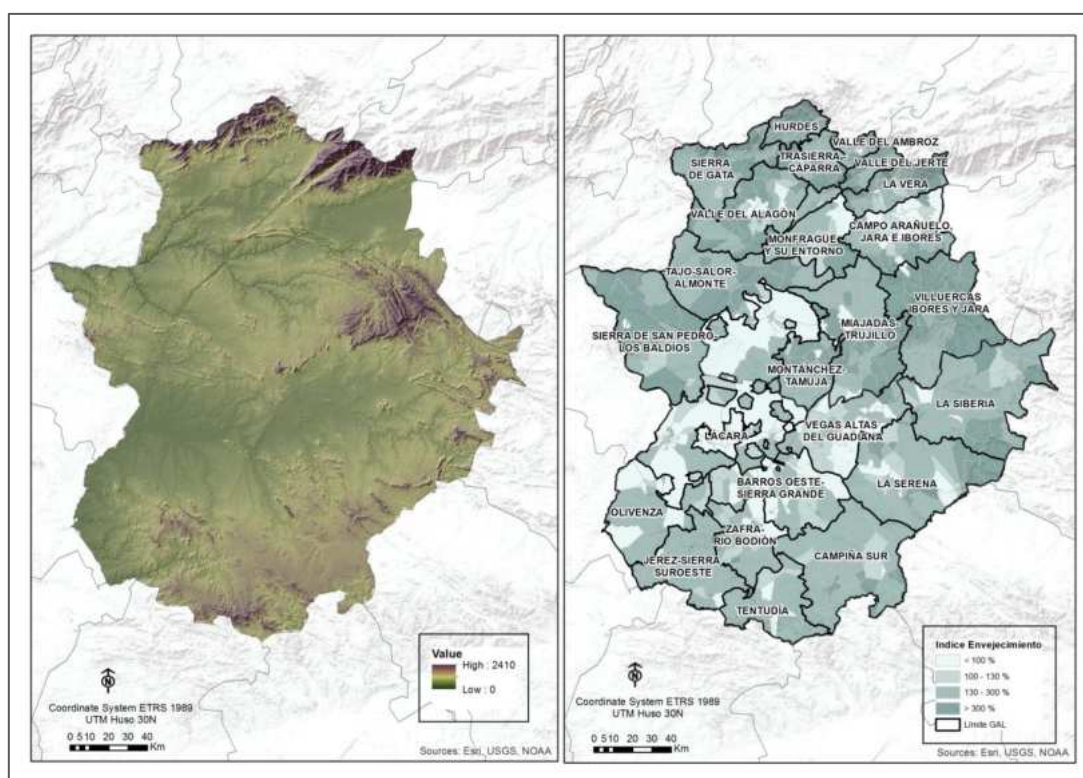


Figura 4. Mapa de Relieve e Índice de envejecimiento de Extremadura (2011).

Fuente: INE e IGN. Elaboración propia.

Del otro lado encontramos los municipios más dinámicos, localizados en Las Vegas Bajas y Altas del Guadiana, en Tierra de Barros y Jerez-Sierra Suroeste en la provincia de Badajoz, que en la actualidad aglutinan a la población más joven de la región. Gracias a la existencia de un tejido empresarial con una clara vocación agraria con cultivos de regadío y una industria de transformación agroalimentaria muy extendida, que se convierten en los principales puntos de generación de empleo. En la provincia de Cáceres son las Vegas del río Alagón y del Tiétar y en los alrededores de las grandes ciudades como Cáceres, Plasencia y Navalmoral de la Mata donde se ubican los municipios que presentan cierta vitalidad demográfica. A nivel municipal son Badajoz, Cáceres, Mérida, Plasencia, Don Benito, Almendralejo y Villanueva de la Serena

los núcleos más dinámicos de toda la región. De este grupo también forman parte algunos municipios del Valle del Jerte, La Vera, Valle del Ambroz, Sierra de Gata y Las Hurdes, que gracias a la especialización del cultivo de cerezas, de tabaco, olivos y productos derivados de la miel, la madera y la piel, junto a un turismo rural que lleva tras él la creación de alojamientos rurales (Nieto y Gurría, 2010) están empezando a generar una red empresarial incipiente en estas zonas caracterizadas hasta hace unas décadas por el aislamiento propio de las zonas de montaña.

Una vez analizada la escala municipal que ha permitido localizar los núcleos afectados por un mayor envejecimiento y aquellos que presentan cierta vitalidad demográfica, se pretende detectar si los municipios propiamente urbanos poseen áreas que padezcan un mayor envejecimiento o si por el contrario, estamos ante ciudades rejuvenecidas. Para ello es necesario trabajar a una escala de detalle inframunicipal (Abellán y Puga, 2006), con este objetivo se acude al Instituto Nacional de Estadística (INE) que con su última publicación del Censo de Población de 2011, pone a disposición gratuita la cartografía de secciones censales de todos los municipios de España. En nuestro caso, solo necesitaremos las secciones censales de Badajoz, Cáceres y Mérida. Así mismo, el INE proporciona información sociodemográfica, destacan como información imprescindible para nuestro estudio el número de habitantes total y los grandes grupos de población por secciones censales, puesto que con estos datos se puede calcular el índice de vejez y envejecimiento a una escala de detalle inframunicipal.

En la elaboración de la cartografía final se va a dar un paso más allá representando la información obtenida por manzanas, con la finalidad de precisar aún más la escala de detalle. Para ello se acudirá al Proyecto de Cartociudad, distribuido también de forma gratuita por el Instituto Geográfico Nacional, de toda la cartografía disponible se van a emplear las manzanas, los viales y los portales de las tres ciudades extremeñas (Nieto y García, 2014). A la hora de elaborar la cartografía simplemente se hizo un proceso de asignación por localización espacial a través de técnicas SIG, asignando las manzanas a cada sección censal a la que pertenece, puesto que no hay un código común que compartan y así poder utilizar éste para posteriores uniones de información sociodemográfica (Mateos, 2012, 2013). El paso siguiente fue integrar a esta cartografía base la información demográfica de nuestro interés -la distribución de la población por grandes grupos de edad por secciones censales-, con el fin de calcular índices específicos del proceso de envejecimiento: el índice de vejez, de envejecimiento, de dependencia total, de dependencia de mayores y de dependencia de mayores (Abellán, 2000; Pérez, 2006). Un paso previo antes de elaborar la cartografía ha sido generar la matriz de correlación entre dos variables: el tamaño de las secciones censales según el número de habitantes que integra y el índice de vejez para comprobar si existe una correlación positiva o negativa entre ambas. Los resultados obtenidos (ver Figura 5) determinan que a mayor población menor es el grado de envejecimiento y viceversa, a medida que el tamaño de las secciones censales es menor el índice de vejez se incrementa hasta máximos de 40% y 50%.

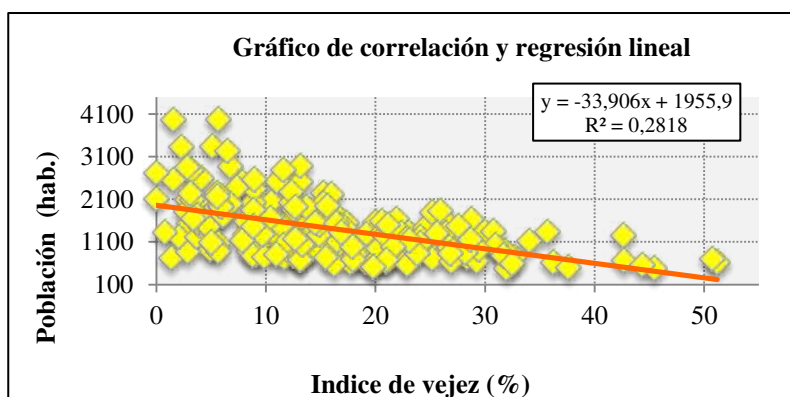


Figura 5. Gráfico de correlación y regresión lineal negativa entre el tamaño de las secciones censales de las ciudades de más de 50.000 habitantes de Extremadura y su índice de vejez.

Siguiendo la metodología aplicada en el paso anterior, para determinar si existe un patrón de comportamiento de la distribución del envejecimiento demográfico en el entorno urbano extremeño se acude al análisis de dos variables concretas: el número de habitantes por secciones censales y el índice de envejecimiento. En la ciudad de Badajoz (la más habitada de Extremadura, con un total de 151.214 habitantes en el año 2011) y de Cáceres (con 95.616 habitantes) la población tiende a concentrarse en las afueras, mientras que el casco histórico y las secciones censales del centro de ambas ciudades aglutinan menos de 1.200 habitantes. Este mismo comportamiento se aprecia en la distribución del envejecimiento demográfico en las ciudades (ver Figura 6), donde los mayores índices de envejecimiento – por encima de 130 %, la media regional- se alcanzan justo en las secciones censales ubicadas en el centro y en el casco histórico de estas dos ciudades, donde el número de habitantes era considerablemente menor. En el caso de la ciudad de Mérida se registra el mayor índice de envejecimiento, por encima de 300%, solamente en el sur y este de la ciudad.

Si se observa la Figura 6 se aprecia como el proceso de envejecimiento es más acusado en el centro de la ciudad de Badajoz y Cáceres, especialmente en ésta última donde en 19 secciones censales se supera el índice de 300%. Se tiende por tanto a una concentración de la población mayor en el centro de las ciudades (Díaz et al., 2012; Sánchez, 2005). Este aspecto va a tener su reflejo en la distribución de los equipamientos y servicios, donde el centro queda marginado y abandonado por las familias jóvenes con hijos menores que demandan la proximidad de equipamientos tales como colegios, centros de salud, parques,...debido a la ausencia de estos servicios en el centro y a la mala accesibilidad en el casco histórico, se tiende a la compra o alquiler de viviendas en las afueras de las ciudades, muestra de ello es el bajo índice de envejecimiento que se alcanza en las afueras de la ciudad de Badajoz, Cáceres y Mérida, todos por debajo del 100%.

A la vista de los resultados obtenidos se puede afirmar que el envejecimiento demográfico está inserto en la sociedad extremeña, no solo en los núcleos rurales que ya llevan arrastrando este proceso desde hace unas décadas, sino también en los núcleos urbanos donde la concentración de la población mayor en el centro urbano es cada vez más evidente y con ésta el patrón de localización de la población joven-adulta en las periferias urbanas (Nieto y García, 2014).

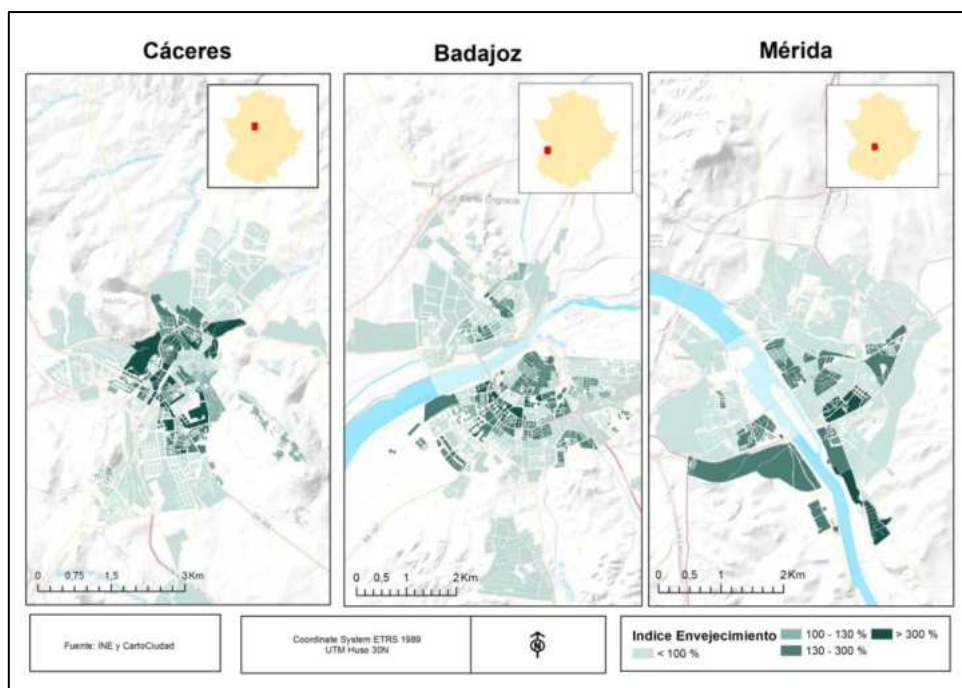


Figura 6. Índice de envejecimiento por secciones censales de las Ciudades de Cáceres, Badajoz y Mérida (Censo de Población de 2011). Fuente: INE, IGN. Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

El proceso de envejecimiento demográfico es un acontecimiento demográfico relativamente reciente que afecta a las sociedades avanzadas, siendo mucho más intenso y arraigado en regiones que han sido sacudidas por una fuerte sangría emigratoria. Las causas hay que atribuir las a un abandono de la masa laboral joven que queda desprovista de una generación fecunda a su lugar de origen, acelerando la representación del colectivo de mayores en las zonas rurales. Esta fue la principal causa de la aceleración del envejecimiento demográfico en Extremadura en los años sesenta del pasado siglo, donde se aprecia el paso de una estructura de la población rejuvenecida a una envejecida, mucho más palpable a partir de la década de los 80 donde las consecuencias de la reducción del colectivos de adultos y la disminución de las tasas de natalidad y por ende de la fecundidad empiezan a ser más notables, junto al incremento de la esperanza de vida. Se ha elaborado una cartografía temática que representa la evolución de los grandes grupos de población, donde queda de manifiesto como en las últimas décadas el proceso de envejecimiento está inserto en el territorio extremeño, siendo los municipios más rurales los afectados por este proceso.

A la vez que el envejecimiento demográfico se insertaba, me atrevo a afirmar de una forma permanente en nuestra región, el incremento de los municipios con un escaso tamaño era evidente. Los resultados obtenidos apoyan esta teoría, sobre todo a partir de la década de los sesenta, cuando el envejecimiento se acelera y los municipios pierden población a causa del éxodo rural. En la actualidad, los municipios rurales -con menos de dos mil habitantes- representan el 73,5 % del total de los municipios de Extremadura y registran un índice medio de vejez de 27,7 %. Este índice se dispara en los municipios que albergan menos de mil habitantes, convirtiéndose en núcleos donde su futuro está más que truncado puesto que en muchas ocasiones no cuentan con una población joven que garantice su permanencia. Estos municipios afectados por un fuerte envejecimiento se enclavan principalmente en las zonas montañosas de la provincia de Cáceres y en el este de la provincia de Badajoz, tradicionalmente áreas muy deprimidas y con una clara vocación agroganadera. Mientras que los municipios más dinámicos se localizan en las zonas de cultivos de regadío intensivo y en los que se ha desarrollado un tejido de industrias de transformación agroalimentaria. Las tres principales ciudades con más de cincuenta mil habitantes se han convertido en las prestadoras de servicios y equipamientos sanitarios, educativos y administrativos. Concentrando a la mayor parte de la población joven-adulta y registrando las tasas de fecundidad más altas de la región. Tras realizar este estudio intensivo, se llega a la conclusión de que existe una relación directa entre el tamaño de los municipios y el grado de envejecimiento que padecen, siendo los municipios rurales -enclavados en las áreas de montaña y las zonas peor comunicadas y más aisladas- los que se ven afectados por un mayor envejecimiento, dibujando un arco perfecto en el norte y este de toda Extremadura.

Las principales áreas urbanas de la región sufren en la actualidad un envejecimiento de su casco antiguo y/o zona centro, siendo éstas las que registran un mayor índice de envejecimiento y las que se enfrentan a un problema de abandono y deterioro por la falta de interés que muestran los jóvenes en alquilar o comprar una vivienda en el centro de la ciudad. Localizándose la población adulta -con uno o dos hijos de media- en las afueras de las ciudades que son las que están provistas de equipamientos enfocados al uso de sus hijos, como son los centros educativos, parques, áreas de recreo... Se dibuja un patrón de localización de la población mayor en el casco antiguo de la ciudad de Badajoz y Cáceres, mientras que en la ciudad de Mérida es en el sur y este donde se observa una concentración de la población mayor. Estamos pues ante una existencia más que evidente de un proceso de envejecimiento demográfico en el medio rural y una tendencia de la concentración de la población mayor en el centro de las principales ciudades de la región extremeña.

BIBLIOGRAFÍA

Abellán García, A. (2000): El envejecimiento demográfico en España: balance de un siglo, *Perfiles y Tendencias*, Boletín 1, 6 pp.

Abellán, A. y Puga, D. (2006): Las escalas territoriales del envejecimiento, *SEMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, vol. 18, pp. 121-141.

Almarcha, A.; Cristóbal, P.; Pascual, M. y Campello, L. (2001): Envejecimiento, natalidad y empleo: Cambios demográficos del nuevo milenio, *Cuadernos de Trabajo Social*, nº 14, pp. 163-183.

Buendía, J. (1997): *Gerontología y salud: perspectivas actuales*. Madrid: Biblioteca Nueva.

Cózar Valero, M.E. (2005): Los cambios sociodemográficos en las mujeres rurales de la provincia de Granada: Un reto para el desarrollo rural sostenible, *Cuadernos Geográficos*. Monográfico: La población española: nuevo siglo, nuevos datos, nuevos perfiles, nº 36, pp. 219-242.

Díaz, P.; Vallejo, I. y Ojeda, J. (2012): Espacialización de datos poblaciones de la provincia de Cádiz a escala de detalle, en *XV Congreso Nacional de Tecnología de la Información Geográfica*, Madrid, AGE-CSIC, pp. 279-287.

Edwards, P. (2001): Salud y envejecimiento. Un documento para el debate, *Perfiles y Tendencias*, vol. 4 y 5, noviembre, 40 pp. Madrid: IMSERSO, Observatorio de las Personas Mayores.

Espina Montero, Á. (2004): Estado del bienestar y teorema de la imposibilidad, *ICE. Revista de Economía*, vol. 815, pp. 61-80.

García Paredes, C. (2009): Población y Movimientos Migratorios, en Alvarado Corrales, E. (Coord.): *Atlas de Extremadura*, Mérida, Asamblea de Extremadura, pp.170-173.

García Paredes, C. (2013): *Envejecimiento demográfico y ordenación del territorio en Extremadura*. Tesis Doctoral. Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
[<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1007970>].

García Paredes, C. y Nieto Masot, A. (2012): La situación sociodemográfica actual en el medio rural de Extremadura, en *Actas del XIII Congreso de la Población Española: la población en clave territorial: procesos, estructuras y perspectivas*, Santander, pp. 249-256.

López Ares, S. y Sánchez Álvarez, I. (1999): *Tendencias demográficas y planificación económica en el principado de Asturias (1996-2026)*. Universidad de Oviedo: Servicio de Publicaciones.

Márquez Domínguez, J. A. (2002): Empleo y nuevas tareas rurales para el desarrollo local, *Investigaciones Geográficas*, nº 29 pp. 57-69.

Mateos, P. (2012): Geovisualización de desigualdades sociodemográficas: nuevas tendencias en la web social, *Actas del XIII Congreso de la Población Española: La población en clave territorial. Procesos, estructuras y perspectivas de análisis*. Santander, Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de Cantabria, Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Cantabria, pp. 507-515.

Mateos, P. (2013): Geovisualización de la población: nuevas tendencias en la web social, en *Investigaciones Geográficas*, nº 60, julio-diciembre, pp. 87-100.

Nieto, A. y García, C. (2014): Análisis del envejecimiento demográfico en Extremadura a escala de detalle: distritos y secciones censales. *Acta del XIV Congreso de la población española*. Sevilla, pp 83-94.

- Nieto, A. y Gurría, J.L. (2005): Análisis de la población de los programas de desarrollo rural en Extremadura mediante sistemas de Información Geográfica, en *Cuadernos Geográficos*, 36, pp. 479-495.
- Nieto, A. y Gurría, J.L. (2008): Las políticas rurales europeas y su impacto en Extremadura, en *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. nº 48, pp. 225-246.
- Nieto, A. y Gurría, J.L. (2010): El modelo rural y el impacto de los programas LEADER y PRODER en Extremadura (Propuesta metodológica), en *Scripta Nova*. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona, nº 340.
- Ojeda, J.; Zabala, A. y Mañas, B. (2011): Geocodificación al servicio de Andalucía, en *Mapping Interactivo*, 149, 31-36.
- Pérez Díaz, A. (2006): Los pequeños municipios ante los retos del desarrollo. *NORBA, Revista de Geografía*, vol. XI.
- Pérez Díaz, A. y García Paredes, C. (2013): Crisis demográfica en la Extremadura rural del siglo XXI, en *Revista de Estudios Extremeños*, vol. LXIX, nº 2, pp. 1209-1230.
- Pérez Díaz, J. (2003): Feminización de la vejez y estado de bienestar en España, *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, nº 104, págs. 91-121.
- Pérez Díaz, J. (2006): Demografía y envejecimiento, *Informes del Portal Mayores*, Lecciones de Gerontología, I. nº 51,
- Pérez Ortiz, L. (2004): Envejecer en femenino, *Perfiles y Tendencias*, vol.9, enero, 27 pp. Madrid: IMSERSO, Observatorio de las Personas Mayores.
- Puerto Segura, E., Rodríguez Díaz, V. y Rodríguez Romero, E. (2010): Procesos de geocodificación en el ámbito sanitario. Una comparativa de resultados, en Ojeda, J., Pita, M.F. Y Vallejo, I. (Eds.): *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp. 337-347.
- Rico Gómez, A. e Infante, A. (2004): Demografía y sanidad en España: ¿Qué podemos aprender de Europa?, *ICE. Revista de Economía*, vol. 815, pp. 185-204.
- Rubiales Pérez, M. (2012): Las élites en las nuevas ciudades: morfología de la distribución residencial de las clases altas en las regiones metropolitanas de Madrid y Barcelona, *Actas del XIII Congreso de la Población Española: La población en clave territorial. Procesos, estructuras y perspectivas de análisis*. Santander, Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de Cantabria, Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Cantabria, pp. 166-174.
- San Martín Blanco, A.; Modino Macho, I. y Gómez García, R. (2003): El envejecimiento demográfico en la provincia de León, *Humanismo y Trabajo Social*, nº 2, pp. 221-247.
- Sánchez, D. (2005): El proceso de envejecimiento demográfico en Granada y su área metropolitana, *Cuadernos Geográficos*, 37 (2005-2), pp. 185-199.
- Sancho Castiello, M.T; Pérez Ortiz, L.; Abellán, A. y Rodríguez, V. (2001): Las personas mayores en España. Algunos indicadores básicos, *Cuadernos de Trabajo Social*, nº 14, pp. 221-253.
- Serrano, L. (2002): Cambios demográficos y demanda educativa, *Revista Valenciana de Economía y Hacienda*, nº 6-III, pp. 97-124.

ANÁLISIS DE LA VIVIENDA VACÍA EN EXTREMADURA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

David Hernández Íñigo

Graduado en Geografía y Ordenación del Territorio, Máster en Tecnología de la Información Geográfica: SIG y Teledetección,

Universidad de Extremadura, davidhernandezinigo@gmail.com

RESUMEN

El fenómeno de la vivienda vacía es uno de los temas que más controversia suscita entre la sociedad en estos tiempos de crisis. Los debates que surgen al calor de este fenómeno están basados en una serie de problemas que genera tener elevadas tasas de viviendas desocupadas. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo fundamental analizar, mediante técnicas de SIG, el impacto de las viviendas vacías en Extremadura.

El trabajo ha tenido un proceso explicativo, donde el uso de los Sistemas de Información Geográfica ha sido clave para el análisis de la vivienda desocupada, ya que nos ha permitido crear una base de datos con cerca de doce mil registros alfanuméricos, que han sido fundamentales para la cuantificación del fenómeno. De igual forma, los SIG nos ha brindado la posibilidad de visualizar cartográficamente el impacto que tiene la vivienda deshabitada en el territorio, ya que el fenómeno de la vivienda vacía tiene como particularidad que pone a los pueblos y ciudades en una encrucijada dificultando la cohesión socioeconómica, pues genera una serie de problemas que van desde lo estrictamente económico hasta lo más social, sin olvidar el factor ambiental, ya que es el suelo el que sustenta toda la carga constructiva.

Palabras Clave: Vivienda vacía; deshabitada, urbanismo; SIG; Extremadura.

ABSTRACT

The phenomenon of empty housing is one of the most controversial issues raised in society in these times of crisis. The debates that arise in the heat of this phenomenon is based on a series of issues that have generated high rates of unoccupied homes. Therefore, the present study has as main objective to analyze through GIS techniques, the impact of empty homes in Extremadura.

The work has an explanatory process, where the use of GIS has been key to the analysis of unoccupied housing, and that has allowed us to create a database with about twelve thousand alphanumeric records, which have been instrumental to quantify the phenomenon. Similarly, GIS has given us the possibility of different areas mapped and display the impact of uninhabited housing in the territory, since the phenomenon of empty housing has the particularity that makes towns and cities at a crossroads difficult economic and social cohesion, as it generates a number of problems ranging from the purely economic to the most social, not Forget the environmental factor, since it is the soil that sustains all constructive load.

Key Words: Empty dwelling; uninhabited, urbanization; GIS; Estremadura.

1. INTRODUCCIÓN

En la actual coyuntura de crisis económica por la que estamos atravesando, la vivienda se ha perfilado como uno de los temas que más preocupa a la sociedad. El miedo a ser desahuciado de la vivienda familiar por no hacer frente al pago hipotecario tras la pérdida del empleo, ha creado en la mayoría de la sociedad española la percepción de desamparo por parte de la Administración.

Los poderes públicos tienen la obligación constitucional de promover las condiciones y normas pertinentes para hacer efectivo el derecho a una vivienda digna y adecuada por parte de la población española. Ante los acontecimientos derivados de la crisis, se ha constatado que los poderes públicos son incapaces de cumplir con este derecho constitucional, debido, tanto a un parque de viviendas públicas insuficientes, como a la ausencia normativa que regule la desocupación permanente de viviendas en nuestras ciudades.

Esta situación ha provocado que grupos críticos de nuestra sociedad se asocien para denunciar de forma activa la promulgación de leyes que regulen el fenómeno de la vivienda vacía, ya que España es el país de la Unión Europea que más viviendas desocupadas tiene. No obstante, las competencias sobre vivienda son potestad de las diferentes Comunidades Autónomas, por lo que legislar ante este problema es una responsabilidad conjunta de los diferentes gobiernos.

Ante este panorama, en el que la vivienda vacía se ha convertido en uno de los focos que más preocupa a la sociedad, se ha planteado analizar el fenómeno de la vivienda vacía en Extremadura, donde el uso de los Sistemas de Información Geográfica es imprescindible para cuantificar su impacto en el territorio.

2. ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El estudio geográfico de la desocupación residencial se ha llevado a cabo a nivel municipal, mediante el análisis de los 385 municipios existentes en Extremadura en el año 2011. Los factores de la desocupación no son homogéneos a todas las realidades geográficas, ya que este fenómeno está influenciado por una gran multitud de factores que han provocado que la explicación al por qué de las elevadas tasas de desocupación tenga diferentes respuestas según la zona de estudio. En cuanto a los elementos metodológicos y técnicos que se siguieron han tenido un proceso explicativo, donde se ha perseguido el porqué de los hechos estableciendo relaciones de causa-efecto.

La recopilación de los datos necesarios para el estudio han sido extraídos, en su mayoría, del Instituto Nacional de Estadística, ya que sus diferentes Censos de Población y Vivienda nos proporcionan una información completa y detallada sobre el tema que queremos desarrollar. El Censo es el recuento individualizado de los habitantes o viviendas, entre otras variables, de un territorio determinado; en el caso del Censo de Viviendas, es el conjunto de operaciones tendentes a recopilar y resumir los datos relativos a todos los lugares destinados a habitación humana que han sido concebidos como tales, y a enumerar aquellos que no habiendo sido concebidos para este fin tienen sin embargo este uso (INE, 2015).

Durante la recogida de los datos hemos consultado los censos de 1991, 2001 y 2011, de los cuales hemos extraído toda la información relevante para nuestro análisis, siendo los datos consultados: vivienda principal, secundaria y vacía, así como población y sus principales variables. Tras recopilar todos los datos necesarios para el estudio creamos una base de datos con cerca de doce mil registros alfanuméricos que fueron analizados a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Hay que tener en cuenta que para el estudio de este fenómeno se ha creado una base de datos muy extensa, por lo que gracias a las herramientas SIG se ha podido analizar un fenómeno tremendamente complejo, ya que su existencia es un cúmulo de muchas variables –sociales, económicas y políticas– que lo han favorecido. En cuanto al análisis de los datos recopilados, se asoció, mediante técnicas SIG, toda la información relevante al municipio que le correspondía, creando una estructura ordenada de los datos de vivienda principal, secundaria y vacía de los

años 1991, 2001 y 2011. Una vez ordenado estos datos se procedió a operar con ellos para cuantificar el porcentaje de viviendas desocupada que había en cada municipio en cada año en cuestión. Además, se detalló la evolución de la vivienda desocupada en cada localidad extremeña desde el año 1991 hasta el 2011.

Por otro lado, se quiso establecer cuál había sido el crecimiento medio anual de cada tipo de vivienda (principal, secundaria y vacía) en el periodo estudiado (1991-2011), con el objetivo de comprobar si cada una de estas tipologías de vivienda había experimentado un comportamiento diferente y tratar de dar así una explicación. Para ello, aplicamos la ecuación de la Tasa de Crecimiento Anual (*Compound Annual Growth Rate*), donde “f” es el valor inicial, “s” el valor final, “y” el número de años.

$$GAGR = \left[\left(\frac{f}{s} \right)^{\frac{1}{y}} \right] - 1$$

En cuanto a la cartografía, hemos utilizado la que proporciona el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Este Organismo tiene como misión difundir los productos del Instituto Geográfico Nacional, así como producir y distribuir sus publicaciones cartográficas y las de otras Administraciones e Instituciones. Para el análisis territorial del fenómeno de la vivienda vacía hemos extraído la cartografía vectorial de los diferentes municipios de Extremadura. La Base Cartográfica utilizada ha sido la correspondiente a la BCN200, que es un sistema de información geográfica multipropósito, ya que alberga datos topográficos y temáticos, sirviendo como soporte para introducir todos nuestros datos correspondientes al tema a analizar. Tras el estudio, se ha creado una serie cartográfica acorde al fenómeno que se ha analizado, dándole una simbología apropiada a cada fenómeno y variable examinado para que ayude a su correcta visualización, ya que, de esta forma, se puede focalizar mejor en el territorio un problema tan complejo como el de la vivienda vacía.

3. EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN DE LA VIVIENDA VACÍA EN EXTREMADURA

Durante las dos últimas décadas Extremadura ha experimentado un importante crecimiento de su parque residencial. Dicho crecimiento ha respondido a diferentes factores socioeconómicos que han posibilitado la construcción de nuevas viviendas por toda la geografía extremeña. Las causas de su desarrollo han podido ser: el crecimiento de la renta per cápita, el alto porcentaje de personas en edad de emanciparse o un crecimiento económico apoyado en el sector de la construcción (Vinuesa *et al*, 2007).

Desde el Censo de 1991 no ha parado de aumentar el número de viviendas en la región hasta alcanzar un total de 648.350 en el año 2011, lo que supone un aumento del 36,73%. Junto a esta subida de las residencias totales, también la vivienda vacía ha experimentado un importante crecimiento, pues ha pasado de 69.247 que había en 1991 hasta las 105.175 de 2011, lo que representa 35.928 viviendas desocupadas más (+51,88%).

En estos veinte años la construcción fue uno de los pilares más importantes de la economía, como demuestra las cifras de nueva vivienda que se construyó en este período. Asimismo, la Tasa Anual de Crecimiento, que engloba a todos los tipos de viviendas, representa un incremento del 1,66% anual durante el periodo 1991-2011. Haciendo una diferenciación de los tipos de viviendas, observamos que la tasa más baja corresponde a la creación de vivienda principal, es decir, de nuevos hogares, con un 1,53% al año, mientras que las más altas son el crecimiento de la vivienda vacía, que supone un aumento del 2,22% anual y de vivienda secundaria con un 1,82%.

Estos datos nos hace intuir que en la construcción de vivienda ha habido una importante influencia inversionista –alejado de razones demográficas–, ya que de las 174.172 viviendas que se han construido nuevas en estas dos décadas el 40,36% fueron viviendas no principales, de las cuales 35.928 han quedado deshabitadas, lo que ha supuesto un mayor engrosamiento del stock de vivienda vacía ya existente en Extremadura.

Tabla 1. Evolución del tipo de viviendas en el período 1991-2011 en Extremadura

Vivienda	1991	2011	Diferencia 1991-2011 Vivienda %		Tasa Anual Crecimiento
PRINCIPAL	318.333	424.980	106.647	33,50%	1,53%
SECUNDA RIA	83.826	118.195	34.369	41%	1,82%
VACÍA	69.247	105.175	35.928	51,88%	2,22%
OTRAS	2.772	0	-2.772	-100%	-100%
TOTAL	474.178	648.350	174.172	36,73%	1,66%

A pesar de que el crecimiento de la vivienda vacía ha sido muy importante en el conjunto de Extremadura, este crecimiento no se ha dado por igual en todo los ámbitos territoriales. Por ello, haciendo una discriminación, en base al tamaño de los municipios, observamos que la evolución de la vivienda desocupada refleja una clara diferencia en el sistema urbano regional. En la siguiente tabla podemos observar que mientras en los municipios más rurales –con menos de 2.000 habitantes- el crecimiento ha sido del 19,83%; en las poblaciones más grandes –en especial en las intermedias- este crecimiento ha sido del 79,57%; seguida de las tres capitales, con más de 50 mil habitantes, con una subida del 73,61%.

Tabla 2. Evolución de la vivienda vacía en función del tamaño del municipio.

Población	Municipios 2011	Vivienda Vacía 1991	Vivienda Vacía 2011	Diferencia 1991-2011 Vivienda %	
> 50.000	3	13.222	22.955	9.733	73,61%
10.001 - 50.000	11	12.012	21.570	9.558	79,57%
5.001 – 10.000	24	9.451	13.815	4.364	46,18%
2.001 – 5.000	61	11.479	19.175	7.696	67,04%
0 – 2.000	286	23.083	27.660	4.577	19,83%
Total	385	69.247	105.175	35.928	51,88%

Esta disparidad no se ajusta a la evolución demográfica, ya que mientras las tres ciudades más pobladas de Extremadura (Badajoz, Cáceres, Mérida) han conseguido aumentar, en conjunto, su población en 56.862 habitantes más desde 1991, lo lógico hubiera sido que sus residencias desocupadas se hubieran reducido pero, lejos de esto, han crecido en 9.733 viviendas vacías más (73,61%). Este hecho es consecuencia de la elevada construcción de viviendas que se ha producido en estas ciudades en el período estudiado, ya que si analizamos las particularidades de ambas ciudades podemos apreciar que mientras en Badajoz, en el período

estudiado, la población ha aumentado en 28.989 habitantes, las viviendas construidas han crecido en 27.129, prácticamente una vivienda nueva por cada habitante ganado. En Cáceres la población creció en 21.027 habitantes, mientras que las viviendas totales aumentaron en 22.138, siendo superior el aumento habitacional que el poblacional. El caso de Mérida es más exacerbado, ya que durante 1991-2011, la población emeritense creció en 8.526 habitantes, mientras que el número de viviendas totales aumentó en 11.790 viviendas más.

En el mismo caso se encuentra la red urbana intermedia que posee la región, aquella que están entre los 10 y 50 mil habitantes. En este caso la población ha aumentado en un 17,74%, ya que las 11 ciudades que tiene Extremadura en este rango han pasado de reunir 199.809 habitantes en 1991 a un total de 235.260 en 2011. Pero con respecto a la vivienda desocupada fue aquí donde más creció, pues se pasó de concentrar 12.012 viviendas vacías en 1991 a 21.570 en 2011, lo que ha supuesto un crecimiento del 79,57%.

En el lado opuesto están las localidades más pequeñas; en especial, destacan aquellos que tienen menos de dos mil habitantes, donde la población, en estos veinte años, ha sufrido un descenso del 16,96%, fruto de la emigración y la mortalidad. A pesar de ser el grupo de localidades que más ha visto descender su población, han sido los que menos han aumentado sus viviendas vacías con 4.577 más (+19,83%).

Tabla 3. Evolución demográfica por tamaño del municipio.

Población	Municipios 2011	Habitantes 1991	Habitantes 2011	Diferencia 1991-2011 Habitantes %	
> 50.000	3	246.098	302.960	56.862	23,11%
10.001 – 50.000	11	199.809	235.260	35.451	17,74%
5.001 – 10.000	24	163.421	158.575	-4.846	-2,97%
2.001 – 5.000	61	189.822	182.755	-7.067	-3,72%
0 – 2.000	286	262.702	218.135	-44.567	-16,96%
Total	385	1.061.852	1.097.685	35.833	3,37%

De estos datos se esclarecen varios hechos. Por un lado, observamos que en la red urbana, donde la población más ha aumentado, también es donde más ha crecido la vivienda desocupada. Esta razón puede ser debida, como ya comentamos anteriormente, a que muchos ciudadanos -vivan o no en alguna de estas ciudades- en los años de bonanza económica han comprado una vivienda como futura inversión. Esta inversión ha podido ir en dos direcciones, invertir para especular, donde la ocupación de la vivienda debería haber sido corta en el tiempo o invertir con vistas a un futuro -para posibles hijos-, donde la ocupación de esta vivienda se alargaría con los años. Por otro lado, en aquellos municipios donde la población ha descendido, observamos que la vivienda vacía, a pesar de crecer, ha sido donde menos ha aumentado. En este caso el hecho de que creciera aquí la desocupación es algo normal debido a la pérdida estructural de efectivos demográficos, ya sea por emigración o por la baja natalidad de estas localidades que impide un reemplazo generacional.

Así pues, haciendo un análisis más detallado de la evolución que ha experimentado la vivienda deshabitada a nivel municipal, podemos observar que de las 380 localidades¹ analizadas el 61,6% de ellas ha aumentado sus viviendas vacías frente al 37,4% que han conseguido reducirlo; tan sólo el 1% tienen el mismo número de casas desocupadas. De los 234 municipios donde ha aumentado la desocupación, 119 corresponden a la provincia de Badajoz y

¹ Se han analizado los 380 municipios que había en el Censo de 1991, ya que las nuevas localidades surgidas tras esta fecha carecen de datos estadísticos para comparar su evolución.

115 a la de Cáceres, mientras en los que han descendido la gran mayoría están en la provincia cacereña, 100 localidades; mientras que en la de Badajoz tan sólo son 42.

De los municipios que han aumentado su vivienda vacía los más destacados son Badajoz con 3.797 viviendas desocupadas más, Cáceres con 3.027, Mérida con 2.909 y Plasencia con 2.842 viviendas deshabitadas más, que paradójicamente, como vimos anteriormente, son también las ciudades que más han visto crecer su población en los últimos veinte años. Porcentualmente los incrementos más destacados son los de La Codosera con un 2.233%, Orellana de la Sierra con un 2.067% y Berrocalejo con un 1.900% con respecto al parque vacío que tenían en 1991. Estos espectaculares aumentos son debido a que ambos municipios tenían muy pocas viviendas vacías en el año 1991 y tras una pérdida importante de población muchas de las viviendas que antes estaban ocupadas quedaron sin uso.

En el lado opuesto están las localidades que sí han logrado reducir su parque inmobiliario vacío. En este caso destacan Talayuela con 447 viviendas vacías menos, Ladrillar con 379 y Valencia de Alcántara con 359. Porcentualmente son las localidades de Garvín, con una reducción del 100% de sus casas desocupadas, Toril con un 94,44% y Talayuela con el 91,79% los que más han reducido su parque residencial vacío con respecto al que ya tenían en 1991. Hay que decir que en el caso de Talayuela este importante descenso puede ser debido a dos hechos; por un lado, desde 1994 se han independizado de él tres nuevos municipios: Rosalejo, Tiétar y Pueblonuevo de Miramontes; por otro lado, la localidad ha aumentado su población un 20,4% desde 1991, crecimiento que se ha basado especialmente en población inmigrante. Los extranjeros representaban en 1991 el 0,2% de la población, mientras que en el Censo de 2011 el peso demográfico de este grupo poblacional ascendió hasta el 34,6% del total, es decir, se ha pasado de una población inicial de 18 extranjeros a un total de 3.205 habitantes procedentes de otros países, siendo Talayuela la localidad extremeña con un mayor peso de personas foráneas. Estos hechos, tanto la independencia de los tres nuevos municipios como la llegada de población inmigrante —que pone menos impedimentos a la hora de habitar una vivienda— han logrado esta importante reducción del parque de viviendas vacías en la localidad.

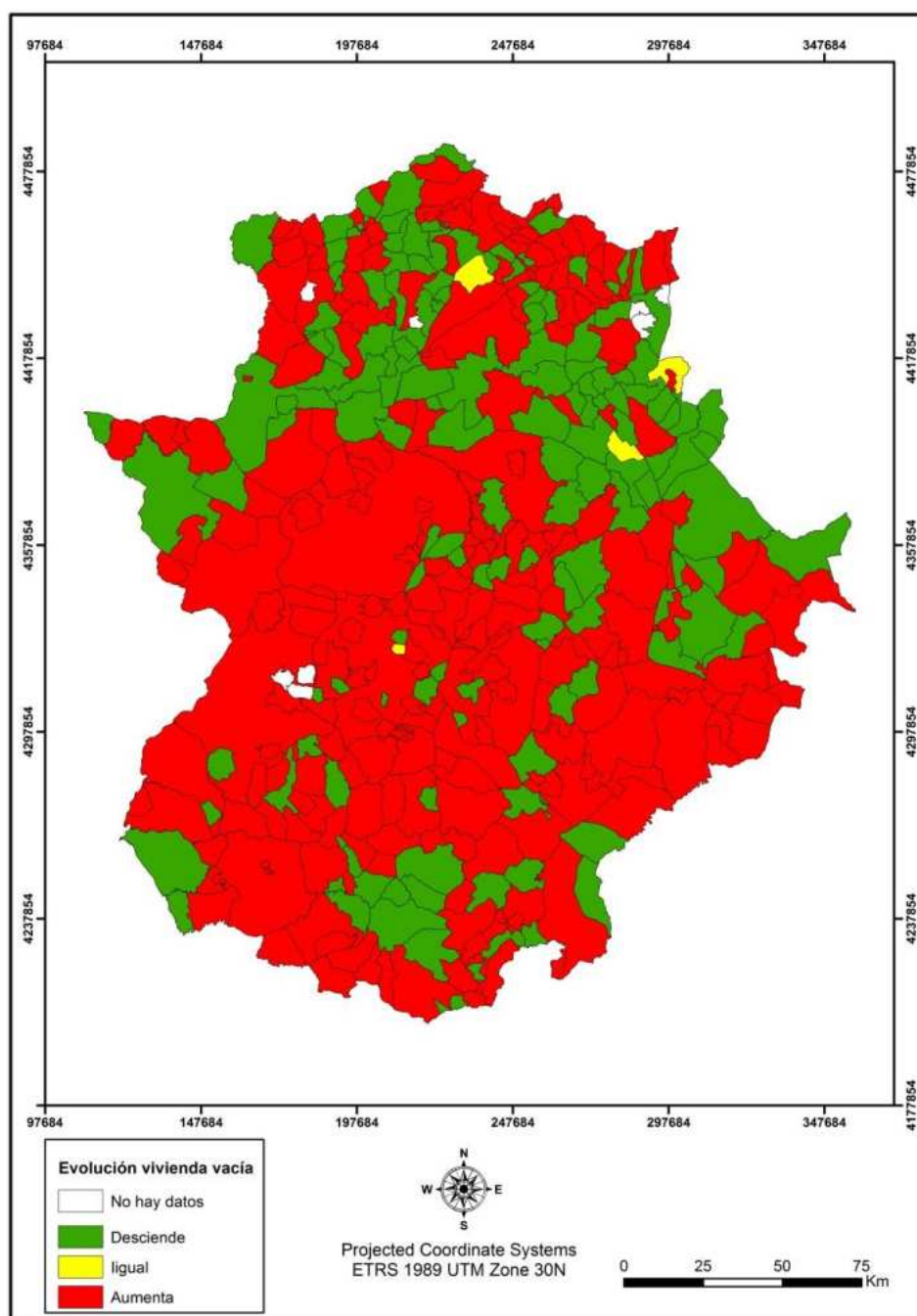


Figura 1. Evolución de la vivienda vacía entre 1991 y 2011. Elaboración propia.

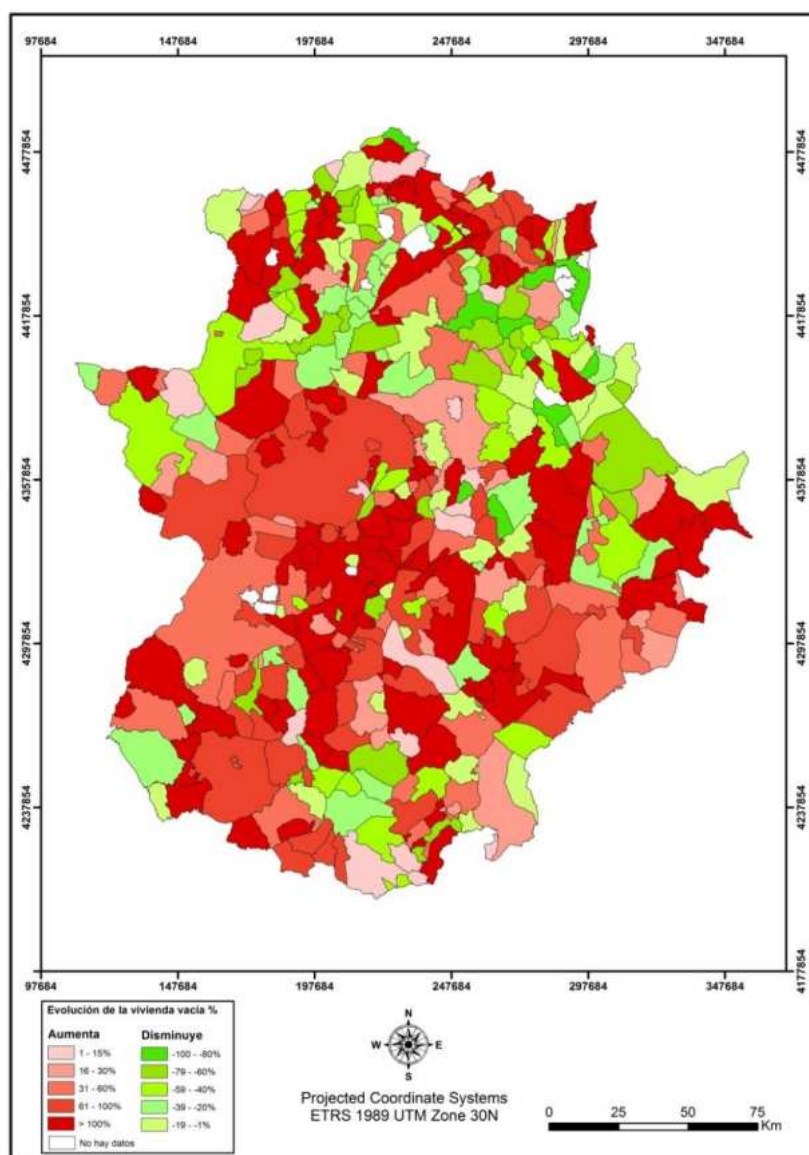


Figura 2. Evolución porcentual de la vivienda vacía entre 1991 y 2011. Elaboración propia.

Centrándonos en la Tasa Anual de Crecimiento, entre 1991 y 2011, observamos que hay una clara disparidad entre los diferentes tipos de vivienda. Como ya establecimos en la Tabla 1, el crecimiento anual de las viviendas principales en estos veinte años fue del 1,53%, mientras que el aumento de las vacías ha sido del 2,22%. Si hacemos la comparación a nivel municipal podemos apreciar en el siguiente mapa que mientras la mayoría de las localidades han experimentado un crecimiento anual de la vivienda desocupada superior al 2%, el crecimiento en las viviendas principales ha sido inferior al 1,5%, lo que demuestra que en la mayoría de los municipios extremeños una gran parte de la construcción de viviendas ha sido por razones inversionistas y no por una necesidad de ocupación real.

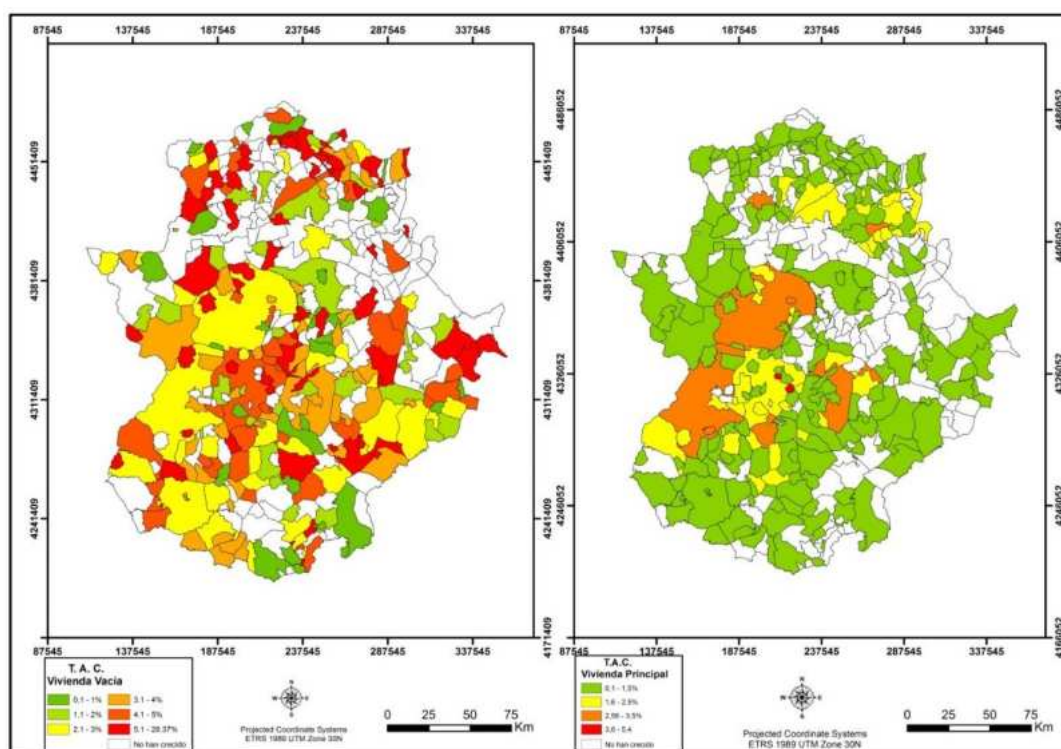


Figura 3. Comparación de la Tasa Anual de Crecimiento entre la vivienda vacía y la vivienda principal entre 1991 y 2011. Elaboración propia.

Esta evolución ha tenido como consecuencia que Extremadura sea hoy la quinta región española con un mayor porcentaje de vivienda vacía en 2011, ya que tiene un stock de 105.175 viviendas desocupadas, lo que representa el 16,22% del parque residencial extremeño. Las localidades que más viviendas vacías tienen son: Badajoz con 10.590, Cáceres con 7.255, Mérida con 5.510 y Plasencia con 4.910 viviendas deshabitadas. Asimismo, como podemos apreciar en la Figura 4, de los 385 municipios analizados son 13 las ciudades que cuentan con un número superior a las mil viviendas vacías, concentrando ambas un total de 43.985 hogares vacantes, lo que representa el 42% del total de viviendas vacías en Extremadura.

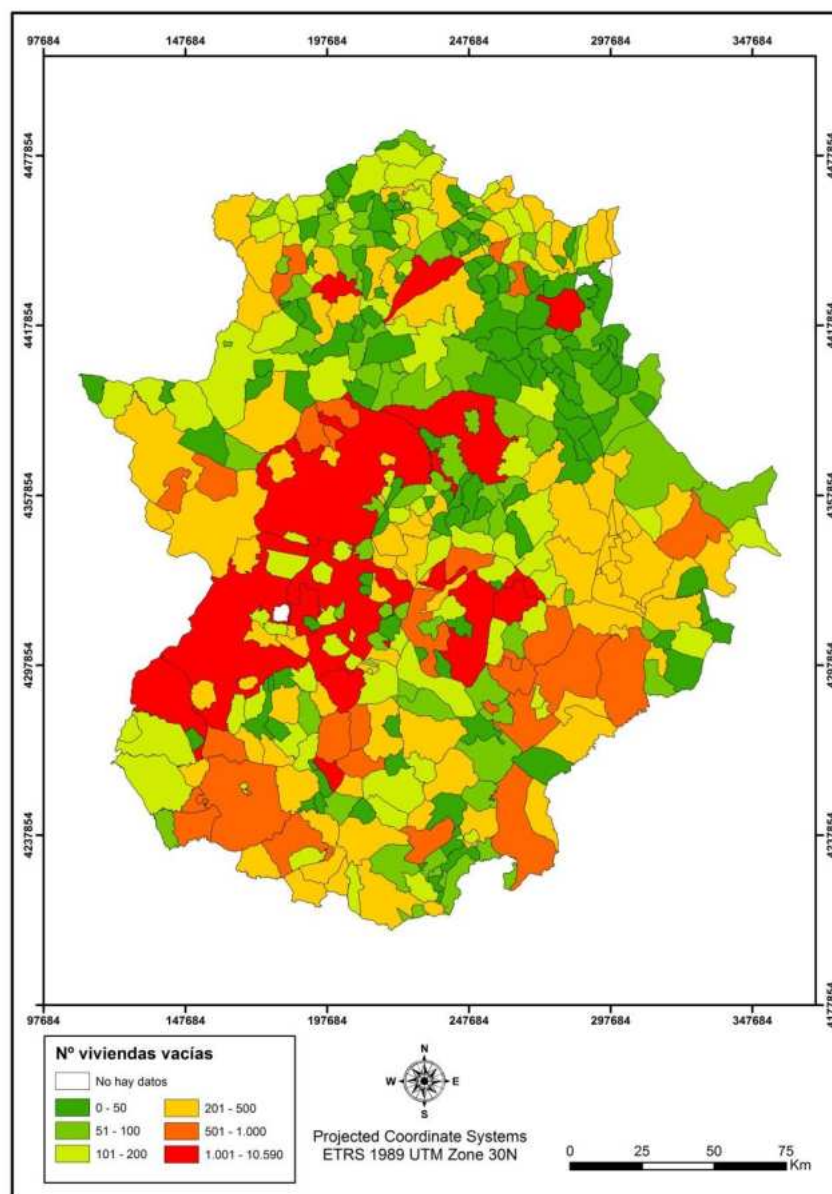


Figura 4. Número de viviendas vacías en 2011. Elaboración propia.

Porcentualmente, los valores más elevados –superior al 25%- los encontramos en las localidades con menor población; ejemplo de ello son los 38 municipios extremeños que tienen una tasa de viviendas desocupadas por encima del 25%, donde el pueblo más grande de todos ellos es Herrera del Duque con 3.710 habitantes y el de menor población Benquerencia con 87 personas. Así pues, de todos los municipios analizados, el que tiene un mayor porcentaje de su parque residencial vacío es Botija con el 52%, seguido de Salvatierra de Santiago con el 47% y La Garganta con el 41%. Si nos centramos en las diez ciudades más pobladas de Extremadura, la que tiene un mayor porcentaje de viviendas deshabitadas es Plasencia con el 21,9% de su parque vacío, seguido de Don Benito con el 20%; por el contrario, del grupo de grandes ciudades de Extremadura son Badajoz con el 14,69%, Cáceres con el 14,42% y Navalmoral de la Mata con el 11,69% las tres ciudades con el porcentaje de desocupación residencial más bajo de la región.

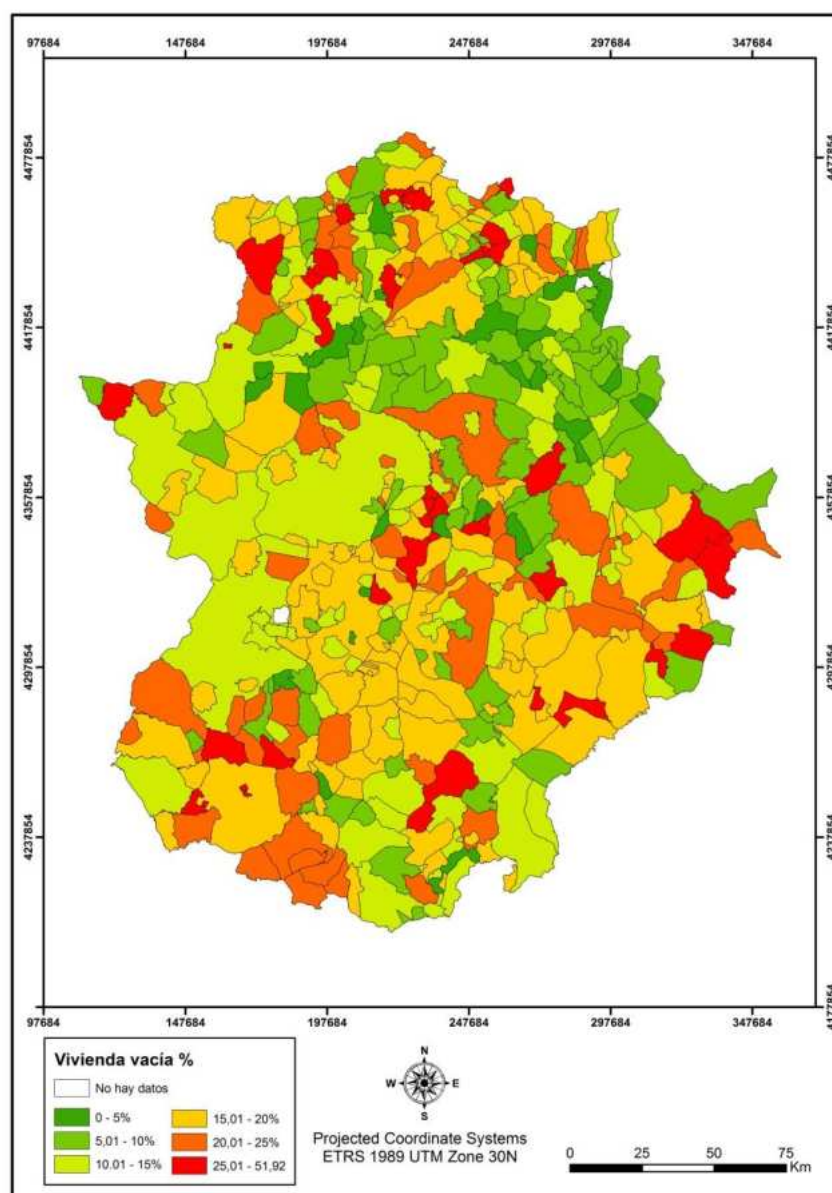


Figura 5. Porcentaje de viviendas vacías en 2011. Elaboración propia.

Atendiendo a la Figura 5 podemos observar la geografía de la vivienda desocupada en la región, donde podemos apreciar que los municipios con valores bajos de viviendas desocupadas se localizan principalmente en la provincia de Cáceres, destacando sobre todo la zona de Campo Arañuelo, Villuercas y arco de Cañaveral. Por el contrario, en la provincia de Badajoz la mayoría de los municipios tienen valores altos de desocupación residencial, encontrándose la mayoría de ellos con valores entre el 15% y 20%. Estos municipios se encuentran, sobre todo, en las comarcas de Tierra de Barros y La Serena.

4. CONCLUSIONES

Con los datos analizados, podemos asentir que se ha construido por encima de la capacidad demográfica de las ciudades extremeñas, siendo éste el principal factor por el que, dos décadas después, tengamos más viviendas desocupadas en nuestro parque inmobiliario. Esta construcción sobredimensionada responde tanto a la capacidad inversora de la sociedad, que vio durante años el patrimonio inmobiliario como el foco de mayor rentabilidad a la hora de invertir –dejando sin inversión sectores estratégicos y productivos para Extremadura–; como por el

apoyo de las administraciones hacia el sector inmobiliario, provocando una construcción de viviendas innecesarias que hoy día permanecen deshabitadas.

Hemos podido observar con los datos analizados que el fenómeno de la vivienda vacía en el territorio responde a realidades diferentes, ya que mientras en el mundo rural el aumento de la desocupación residencial responde a factores naturales de pérdida estructural de población causada por: emigración, debido al bajo dinamismo económico, y mortalidad, provocada por el envejecimiento de la población; en el sistema urbano extremeño observamos que el aumento de desocupación residencial responde a factores diferentes. Puesto que, en las ciudades intermedias y grandes de la región, la población ha crecido de forma sostenida en el tiempo, lo que ha producido una mayor construcción de viviendas que supliera la necesidad habitacional de la población. No obstante, esta construcción de viviendas ha estado alejada de criterios racionalistas, ya que una parte importante de esta construcción residencial ha estado influenciada por razones inversionistas que ha provocado que el número de viviendas vacías creciese con mayor fuerza.

Esta desocupación permanente de viviendas provoca una serie de problemas en el discurrir de la ciudad. En el plano socioeconómico es un perjuicio para la sociedad no plantar cara a este problema, ya que cuando las ciudades tienen un gran stock de viviendas vacías, que no salen al mercado inmobiliario ni para ser alquiladas ni vendidas, provoca que los precios se eleven. Este hecho imposibilita que familias con pocos recursos económicos opten a viviendas dignas y de calidad. De igual forma, el ahorro y poder adquisitivo de las familias será menor, ya que deberá dedicar más parte de su presupuesto al alquiler de la vivienda, empobreciendo así la unidad familiar. Otro de los problemas que se deriva para el conjunto de la sociedad es el ambiental, ya que en aquellas ciudades donde hay una demanda real para ocupar viviendas por una parte de la ciudadanía, y ante un stock vacío y enquistado que no sale al mercado, los gobiernos locales – ante la falta de normas que regulen el fenómeno de la desocupación permanente- deben aprobar licencias que permitan la construcción de nuevas viviendas, con el consiguiente consumo de territorio que podría dedicarse a otro uso no residencial, siendo ejemplo de ello los PIR del Junquillo en Cáceres y de Cerro Gordo en Badajoz, donde se ha construido un alto número de viviendas que en la actualidad, gran parte de ellas, permanecen vacías.

5. BIBLIOGRAFÍA

APCE-AFI. (2003). Estimación de la demanda de vivienda en España (2003-2008). Madrid. AFI. 115.

Centro Nacional de Información Geográfica. <https://www.cnig.es/>

Compound Annual Growth Rate. *Investopedia*, LLC.

<http://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp>

Doménech, R. (17 de octubre de 2011). El impacto económico de la construcción y de la actividad inmobiliaria. BBVA. Rescatado de: https://www.bbvaresearch.com/KETD/fbin/mult/111017_Elimpactoeconomicodelaconstruccion_tcm346-272580.pdf?ts=24102011

Fernández, M. F., (17 de julio de 2015). Vuelve la vivienda social. *El País*. Rescatado de: http://elpais.com/elpais/2015/07/16/opinion/1437059927_031846.html

Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/>

Ley 1/2010, de 8 de marzo, *Reguladora del Derecho a la Vivienda en Andalucía*. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº 54, de 19 de marzo de 2010.

LEY 3/2015, de 18 de junio, *de Vivienda*. Boletín Oficial del País Vasco, nº 119, viernes 26 de junio de 2015.

Ley 14/2015, de 21 de julio, *del impuesto sobre las viviendas vacías, y de modificación de normas tributarias y de la Ley 3/2012*. Boletín Oficial del Estado, nº 195, sábado 15 de agosto de 2015.

Ley de 16 de diciembre de 1954 sobre expropiación forzosa. Boletín Oficial del Estado, nº 351, de 17 de diciembre de 1954.

LEY 18/2007, de 28 de diciembre, del derecho a la vivienda. Boletín Oficial del Estado, nº 50, miércoles 27 de febrero de 2008.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España.

<http://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BAW011>

Trabada, C. E., (14 de enero de 2015). De las viviendas vacías al alquiler social. *El País*. Rescatado de:

http://economia.elpais.com/economia/2015/01/14/vivienda/1421234760_494141.html

Tribunal Superior de Justicia del País Vasco. (26 de noviembre de 2014). Recargo para viviendas desocupadas con carácter permanente. Rescatado de: <http://www.fiscal-impuestos.com/files-fiscal/NFJ057394.pdf>

Urbaniker. (2015). *Urbanismo y Políticas Urbanas*. <http://urbaniker.net/>

Uriel, E. (1995): *Análisis de datos. Series temporales y análisis multivariante*. Madrid: Editorial AC.

Vinuesa et al, (2007). *El fenómeno de las viviendas desocupadas*. España, Madrid, Ministerio de Vivienda. Pp. 106.

CERCO RESIDENCIAL A LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS. LA COMARCA DE LA VERA (CÁCERES).

Jiménez Barrado, Víctor¹ y Campesino Fernández, Antonio-José²

¹ Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura. Avda. Universidad S/N, 10071 Cáceres. victorjb@unex.es

² Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura. Avda. Universidad S/N, 10071 Cáceres. acampesi@unex.es

RESUMEN

Los procesos de expansión urbana han alcanzado, e incluso traspasado, los límites de los Espacios Naturales Protegidos. El acoso urbanístico que soportan las áreas naturales se manifiesta con mayor intensidad en los cinturones periféricos, desprovistos de la defensa que teóricamente garantiza la declaración oficial. Dentro del contexto extremeño, la comarca de La Vera aglutina ciertos condicionantes (alto valor paisajístico y ambiental y buenas infraestructuras de conexión con Madrid) que podrían incrementar la ocupación edificatoria del suelo no urbanizable. Los objetivos marcados en este estudio son la determinación del impacto territorial y ambiental generado por las segundas residencias en el entorno inmediato de las zonas incluidas dentro de las redes de protección del medio natural, así como la medición del ritmo de proliferación de este fenómeno en los últimos años. Mediante el manejo de las series de ortofotografías aéreas del Instituto Geográfico Nacional (2002-2012) a través de los Sistemas de Información Geográfica hemos localizado y cuantificado las edificaciones, demostrando la existencia de un problema ignorado conscientemente por la Administración, y por lo tanto, insuficientemente confrontado. La solución pasa por la actualización del planeamiento urbanístico y territorial y su coordinación con los planes de gestión de los espacios ambientalmente protegidos.

Palabras Clave: Espacios Naturales Protegidos, expansión urbana, naturbanización, segundas residencias, suelo no urbanizable.

ABSTRACT

The processes of urban sprawl have reached, and even crossed, Protected Natural Areas' boundaries. Urban harassment that natural areas support is most strongly manifested in the peripheral belts, devoid of defense that theoretically guarantees the official statement. Within the context of Extremadura, the region of La Vera brings certain conditions (landscape and environmental high value and good connections and infrastructure) that could increase housing occupation of undeveloped land. The objectives in this study are the determination of territorial and environmental impact generated by second homes in the immediate surroundings of the areas included within protecting natural environment networks, as well as measuring the proliferation rate of this phenomenon in the last years. By managing the National Geographic Institute's aerial orthophotos series (2002-2012) through Geographic Information Systems we have located and quantified buildings, demonstrating the existence of a problem consciously ignored by the regional Administration, and therefore, insufficiently confronted. The solution is to upgrade the urban and regional planning and its coordination with management plans for environmentally protected areas.

Key Words: Protected Natural Areas, urban sprawl, naturbanization, secondary homes, undeveloped land.

INTRODUCCIÓN

La calidad paisajística, ambiental y patrimonial de los espacios naturales incrementa el atractivo de determinadas zonas, hecho que el sector turístico, entre otros, ha sabido aprovechar, y que simultáneamente ha conferido mayor visibilidad y dinamismo económico a ciertos enclaves. A medida que el conocimiento de estos lugares ha aumentado, también lo ha hecho la transformación del territorio, destacando de manera notable la proliferación de edificaciones de uso residencial. La declaración oficial de algunas de estas zonas e inclusión de las mismas en la Red de Espacios Naturales Protegidos cumple dos misiones fundamentales: por un lado, reconocer su valor patrimonial, y por otro, establecer la salvaguarda y mejoramiento del mismo. Sin embargo, las restricciones existentes no son aplicables al entorno más inmediato a estas áreas, por lo que la multiplicación de edificaciones en los cinturones periféricos genera problemas difíciles de enfrentar. La naturbanización, entendida ésta como el “acaecimiento de procesos de urbanización en áreas rurales próximas a espacios protegidos” (Prados y Cunningham, 2002), significa ir un paso más allá con respecto al proceso de contraurbanización, ampliamente estudiado por numerosos autores (Berry, 1976; Champion, 1989; Arroyo, 2001).

Este fenómeno experimentado por las sociedades modernas supone el progresivo abandono de las ciudades, de forma definitiva o temporal, en favor del mundo rural (incremento demográfico), pero en contra de los valores (patrimoniales, naturales, culturales,...) que aglutina, aunque paradójicamente son estos últimos los factores estimulantes de tal ocupación. Discrepamos por tanto, al menos en el caso aquí estudiado, de la idea expuesta por Prados (2011), referente a los efectos que la propia declaración tiene sobre el aumento de la urbanización, ya que asumir esto significaría que la creación de nuevos ENP podría tener efectos contraproducentes sobre los entornos en cuestión. Además, en múltiples ocasiones el reconocimiento oficial viene precedido de situaciones amenazantes para estas zonas, por lo que los procesos de urbanización son anteriores y, por lo tanto, factores desencadenantes de la salvaguarda del medio natural.

Los procesos de urbanización difusa aquí analizados corresponden a una nueva fase del modelo de expansión urbana, que en primer término conquistó los espacios periféricos debido al crecimiento acelerado de los grandes centros urbanos. De hecho, según los datos del, ya arruinado gubernamentalmente, Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), los mayores incrementos de la superficie artificial a finales del siglo XX en nuestro país fueron debidos al crecimiento de nuestras ciudades. Particularmente en España, la incidencia de la actividad inmobiliaria tuvo especial relevancia durante los primeros años del siglo XXI (impulsada por la Ley 6/1998, de 13 de abril, sobre régimen del suelo y valoraciones, también conocida como Ley de “todo urbanizable”), lo que “se ha traducido en una dispersión territorial incontrolada del parque inmobiliario, que ha sido, sin duda, uno de los principales instrumentos de urbanización del espacio rural y natural” (Delgado, 2008). La expansión de lo urbano, incluido su mimético modo de vida, ha producido un hartazgo en parte de la sociedad, que es precisamente la que protagoniza la reversión de los flujos migratorios, aunque esta vez con un carácter temporal mayoritariamente. El atractivo de estas zonas poco artificializadas y decadentes, calificativos a los que debe su alto valor ambiental, surge como contraposición a los colmatados espacios metropolitanos.

El desarrollo de las nuevas vías de comunicación y de los sistemas de transporte permite rápidos desplazamientos desde los grandes centros urbanos (polos emisores) hasta los espacios rurales (zonas receptoras). Del mismo modo que el automóvil cambió la fisonomía y tamaño de nuestras ciudades, también introdujo nuevos conceptos como el cálculo de las distancias en clave de tiempo. Esta aproximación entre la población de las urbes consolidadas y el medio rural resulta por tanto imprescindible para la aparición de este fenómeno. Este hecho posibilita movimientos urbanitas pendulares de fin de semana, de mantenida constancia a lo largo del año, entre las primeras residencias de carácter urbano y las segundas residencias edificadas en medios rurales. Los altos índices de accesibilidad relativa que presenta la comarca de La Vera (Mora et al., 2003), la sitúan entre las zonas de Extremadura mejor conectadas con la Comunidad de Madrid, verdadero centro irradiador de la población neo-rural a plazos. La autovía A-5 ha reducido los tiempos de desplazamiento desde la capital nacional hasta el

entorno de las dos horas, duración cómodamente asumible para aquellas personas interesadas en escapar del estrés que provocan las grandes aglomeraciones urbanas. Asimismo, la disposición de la carretera intercomarcal EX-203 en dirección SO-NE, funcionando como eje vertebrador de toda la comarca, y su conexión con la autovía A-66, han favorecido las relaciones entre los distintos núcleos y aumentado la conectividad de esta zona con respecto a otros posibles centros emisores.

Los procesos demográficos del pasado siglo, de entre los que destaca el fuerte éxodo rural (en el que Extremadura tuvo un papel protagonista), nos permiten constatar una estrecha vinculación entre los nuevos pobladores de los entornos rurales y las personas que abandonaron el campo a mediados del siglo XX. Por tanto, aunque el origen geográfico de estos flujos se sitúa en las ciudades, buena parte de los propietarios de viviendas proviene de la misma comarca, bien sea como emigrantes retornados en su jubilación o como descendientes de los mismos. No obstante, existen otros pobladores foráneos y sin vinculación anterior, atraídos no sólo por los recursos naturales sino por los múltiples valores que esta comarca reúne. Un atractivo que se manifiesta en el elevado potencial turístico y el número de plazas de alojamiento, con valores sólo semejantes dentro del mundo rural extremeño en la vecina comarca del Valle del Jerte (Sánchez et al., 2013), lo que incrementa su proyección y conocimiento fuera de los límites regionales. Por último, completan el grupo de los propietarios la población autóctona y residente en los núcleos de La Vera, los cuales han cambiado el aprovechamiento agropecuario de las pequeñas explotaciones cercanas al núcleo por el uso residencial, como forma de esparcimiento y mejora de la calidad de vida a través de tipologías constructivas y equipamientos de difícil inserción dentro de los núcleos.

En definitiva, el suelo no urbanizable ha sido el contenedor de los desarrollos urbanísticos más importantes que han tenido lugar en la comarca de La Vera durante los últimos años. La escasa acción administrativa para mantener la disciplina urbanística que le compete, ha permitido que los crecimientos irregulares protagonizados por los residentes autóctonos, y existentes por toda la geografía regional, se hayan visto complementados con aquellos fomentados por la población foránea. Por tanto, se ha originado una auténtica disputa por el territorio, que ahora queda repartido entre su uso tradicional, el agrícola, y los nuevos usos, ligados al aprovechamiento de los valores medioambientales, uso turístico y residencial, siendo este último el más perjudicial para los intereses de la comarca al no suponer actividad económica alguna y además entrar en competencia con los anteriores por la ocupación del suelo.

PROTECCIÓN NATURAL Y GESTIÓN AMBIENTAL EN LA COMARCA DE LA VERA

La Comunidad Autónoma de Extremadura es considerada como una de las “regiones verdes” de España, no tanto por su nada desdeñable superficie ambientalmente protegida, que gracias a sus 1.276.288,09 hectáreas incluidas en alguna de las redes de protección alcanza el 30,6% de la superficie regional, sino también por su escaso nivel de artificialización, que según los datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente es el más bajo del país, y que en atención a la información que presenta el Corine Land Cover 2012 se corresponde con el 1,05% del territorio extremeño¹. Dentro de este contexto, cabe destacar la importancia que adquiere la comarca de La Vera, con una extensión superficial de 883,44 de Km² repartida entre 19 términos municipales, y en la que podemos encontrar hasta 8 zonas protegidas ambientalmente (Tabla 1), que cubren el 35,7% de su territorio, y un ínfimo nivel de artificialización (0,64%). Las áreas protegidas se incluyen en dos redes, por un lado la Red de Espacios Naturales Protegidos de Extremadura (RENPEX) que cubre 2,72 Km² dentro de la comarca, y por otro, la Red Natura 2000, con una extensión de 315,29 Km².

¹ Para la determinación de las zonas artificializadas se ha realizado un sumatorio de las superficie de las siguientes clases definidas en el Corine Land Cover 2012: Aeropuertos, Escombreras y Vertederos, Instalaciones deportivas y recreativas, Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados, Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo, Zonas de extracción minera, Zonas en construcción, Zonas industriales o comerciales, y Zonas verdes urbanas.

Tabla 1. Espacios Naturales Protegidos en la comarca de La Vera. Fuente: Junta de Extremadura.

RED DE PROTECCIÓN	NOMBRE DEL ENP	TIPOLOGÍA DE ENP	SUPERFICIE (KM ²)
RENPEX	Carballo grande de la Garganta	Árbol Singular	0,03
	Roble del Saltadero	Árbol Singular	0,03
	Corredor Pinares del Río Tiétar	Corredor Ecológico y de Biodiversidad	2,66
Red Natura 2000	Monasterio de Yuste	Zona de Especial Conservación	0,14
	Río Tiétar	Zona de Especial Conservación	26,77
	Sierra de Gredos y Valle del Jerte	Zona de Especial Conservación	286,03
	Colonias de Cernícalo Primilla de Jaraíz de la Vera	Zona de Especial Protección para las Aves	0,33
	Río y Pinares del Tiétar	Zona de Especial Protección para las Aves	29,49
Superficie total protegida			315,42 (35,70%)
Comarca de La Vera			883,44

La gestión de ambas redes corresponde al gobierno de la Comunidad Autónoma de Extremadura, que ha legislado en esta materia a través de la Ley 8/1998, de 26 de junio, de conservación de la naturaleza y espacios naturales de Extremadura, modificada por la Ley 9/2006, de 23 de diciembre, para incluir las exigencias de la Directivas europeas en relación a la Red Natura 2000 y complementada posteriormente por el Decreto 110/2015, de 19 de mayo (Plan Director de la Red Natura 2000 en Extremadura), dedicado específicamente a regular esta última red.

La delimitación de ENP en esta zona es relativamente reciente, ya que la declaración de la primera área protegida, el Corredor Ecológico y de Biodiversidad Pinares del Río Tiétar, se produjo en el año 2003². A esta le han ido sucediendo otros reconocimientos dentro de la RENPEX, que han incrementado progresivamente la superficie preservada, aunque también se han producido descalificaciones como la del Árbol Singular “Pino de Aldeanueva de la Vera”, gracias al Decreto 63/2014, de 29 de abril, en el que por otra parte se declaraban dos nuevos Árboles Singulares en la comarca de La Vera (Carballo grande de la Garganta y Roble del Saltadero, en Garganta la Olla y Villanueva de la Vera respectivamente). Sin embargo, el mayor aumento de la superficie protegida se produjo en el año 2006, a raíz de la decisión de la Comisión Europea, de 19 de julio, por la que se constituía la Red Natura 2000 en la región³. La nutrida representación de estos espacios en la comarca de La Vera se divide en las Zonas de Especial Conservación (ZEC), anteriormente denominadas Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Entre ellas cabe destacar la ZEC Sierra de Gredos y Valle del Jerte, localizada en el extremo septentrional de la comarca y que representa más del 90% de la superficie protegida total en este ámbito geográfico.

A pesar de la profusión de los reconocimientos oficiales, la planificación no fue más allá de la mera declaración hasta la aparición del citado macro-Decreto 110/2015, dejando desprovistos

² La declaración de este espacio protegido se realizó mediante el Decreto 63/2003, de 8 de mayo, aunque su delimitación ha sido modificada posteriormente por el Decreto 219/2012, de 2 de noviembre. Los valores que han motivado su protección son las masas de pinar existentes dentro de un entorno dominado por los cultivos agrícolas intensivos, así como el ecosistema generado, con una rica avifauna que le ha valido para obtener también la declaración de ZEPA dentro de la Red Natura 2000.

³ A pesar de que la constitución como tal de la Red Natura 2000 en Extremadura se realizó en el año 2006, cada uno de los ENP incluidos han seguido diferentes procesos de clasificación como ZEC y/o ZEPA, que incluso fueron anteriores a la fecha citada.

durante ese periodo a estos ENP de instrumentos de gestión, tales como los Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG) y los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN). Según la Directiva 92/43 CEE del Consejo, de 21 de mayo 1992, más conocida como la Directiva Hábitats, el establecimiento de medidas de conservación para los ENP declarados dentro de esta red es obligatorio, pero no así canalizarlas a través de planes de gestión (Pérez, 2014), aunque resulta el medio más efectivo. La ausencia de estos planes ha contribuido sin duda alguna a una deficitaria fiscalización de los objetivos propuestos y a la identificación de estas zonas por parte de la sociedad como escollos hacia un desarrollo socioeconómico futuro, que unido a “las nuevas formas que presentan los procesos de crecimiento residencial y de difusión urbana, están provocando importantes y nocivos efectos de degradación ambiental y paisajística” (Delgado, 2012). Este sentimiento entre la población local se debe también en parte a su escasa participación en los procesos de elaboración de los citados instrumentos de planificación y gestión ambiental (Troitiño et al., 2005). La inexistencia de estos planes implicó un tratamiento idéntico para espacios con valores ambientales heterogéneos, al mismo tiempo que la ausencia de zonificaciones en función de éstos aumentó de forma brusca el contraste entre un lado y otro del límite del ENP.

Sin embargo, con la aprobación de los Planes de Gestión de los ENP incluidos en la Red Natura 2000, se ha implantado un modelo basado en una cuádruple zonificación que facilita la armonía entre la conservación natural y las actividades económicas:

a) Zona de Interés Prioritario (ZIP): incluye áreas críticas para la conservación de los elementos clave de mayor interés en la gestión del espacio.

b) Zona de Alto Interés (ZAI): incluye otras zonas de importancia para la conservación de los elementos clave de mayor interés, así como áreas críticas y zonas de importancia para la conservación del resto de elementos clave.

c) Zona de Interés (ZI): territorio que, si bien contribuye a la conservación de las especies Natura 2000 y de los hábitats de interés comunitario, no incluye zonas de especial importancia para la conservación de los elementos clave.

d) Zona de Uso General (ZUG): Territorio que no presenta valores naturales significativos en cuanto a los hábitats de interés comunitario y de las especies Natura 2000. Con carácter general, en esta zona se podrán incluir:

- Las superficies con mayor grado de antropización.
- Las áreas clasificadas como suelo urbano y urbanizable, o áreas clasificadas como suelo rustico limítrofes a estas.
- La red de carreteras y otras infraestructuras viarias que limiten y recorran los lugares de la Red Natura 2000, así como las de nueva construcción.

Este sistema, que realiza una división interna de cada espacio en función de la incompatibilidad de algunos usos con los valores ambientales presentes, podría verse complementado con zonas más extensas dónde las restricciones alcanzaran sólo las actividades con mayor impacto. El resultado de establecer zonas de amortiguamiento o “tampón” que envuelvan a los ENP sería la disolución paulatina del efecto frontera, que a veces genera situaciones de acoso hacia estos espacios por la violenta diferencia en cuanto a la permisividad de usos entre la zona protegida y su periferia.

En la actualidad, todas las zonas protegidas de la comarca de La Vera cuentan con un Plan de Gestión, aunque por sus características peculiares cada espacio realiza una zonificación distinta acorde con las posibilidades que le ofrece la regulación vigente. De este modo, la ZEPA “Colonias de Cernícalo Primilla de Jaraíz de la Vera”, incluida en el Plan de Gestión conjunto de espacios incluidos en cascos urbanos por la presencia de cernícalo primilla, se divide entre las ZIP y las ZUG. De forma similar ocurre en la ZEC “Monasterio de Yuste”, incluida en el Plan de Gestión conjunto de ZEC declaradas por la presencia de quirópteros cavernícolas, cuyo territorio se reparte entre las ZIP y las ZAI. Haciendo uso de las 4 zonas posibles se encuentra el resto de ENP, que quedan englobados en dos Planes de Gestión. Por un lado, el que regula la ZEC del “Río Tiétar”, la ZEPA “Río y Pinares del Tiétar”, y por coincidencia geográfica, el

Corredor Ecológico y de Biodiversidad “Pinares del Río Tiétar” y el Árbol Singular “Carballo grande de la Garganta”; y por otro lado, aquel que incluye la ZEC “Sierra de Gredos y Valle del Jerte”, territorio que además contiene el Árbol Singular “Roble del Saltadero”.

No obstante, la Administración ha de ser consciente de que los Planes de Gestión deben ser documentos vivos y flexibles, evitando situaciones “donde han primado planteamientos de conservación pasiva y aislacionistas en las políticas medioambientales y se han minusvalorado con frecuencia las realidades socioterritoriales” (Rivera, 2015). La planificación nunca debe suponer un lastre para el desarrollo de las zonas que gestione, sino un impulso para su economía que a la vez garantice sus valores naturales, ya que “para proteger una especie es preciso proteger su hábitat, y para proteger ciertos hábitats hay que mantener una actividad concreta” (Panareda y Arozena, 2008).

Dentro del contexto urbanístico, la protección alcanza otras zonas, fundamentalmente agrícolas, por lo que la edificación destinada a vivienda fuera del perímetro urbano y urbanizable queda bastante restringida en todo el ámbito geográfico estudiado. De este modo, la superficie de suelo clasificada como no urbanizable asciende hasta el 98,92% de la superficie total. Además, la categorización de esta clase de suelo queda decantada claramente hacia la de mayor protección, en una proporción de tres a uno (76,52%) con respecto al suelo no urbanizable común. De hecho, cinco de los diecinueve municipios que forman la comarca (Aldeanueva de la Vera, Cuacos de Yuste, Garganta la Olla, Losar de la Vera y Torremenga) tienen la totalidad de su SNU categorizado como protegido⁴.

PROCESO METODOLÓGICO

La determinación del impacto ambiental que tienen las viviendas edificadas en el entorno de los ENP requiere de la detección previa de las construcciones, así como su discriminación por tipologías y posterior cuantificación. Esta tarea resulta, a priori, especialmente laboriosa en un entorno de estas dimensiones geográficas, lo que descarta el trabajo de campo presencial como forma de recopilación de datos en primera instancia. Estas dificultades quedan confirmadas tras la elaboración del trabajo por la magnitud del fenómeno y su distribución espacial (importante presencia de viviendas diseminadas). De este modo, hemos procedido a la localización de las mismas a través de barridos a escala 1:1.500 sobre las imágenes que ofrece el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), lo que nos permitirá al mismo tiempo medir el ritmo de proliferación de este tipo de viviendas. Para la digitalización de cada elemento se ha utilizado una topología de polígonos sobre una escala que ha fluctuado entre 1:200 y 1:300, lo que nos permite alcanzar una gran precisión (válida para estimar la superficie construida) si tenemos en cuenta que la resolución espacial de las imágenes es de 0,25/0,50 metros.

El primer paso es definir el ámbito a estudiar, que en nuestro caso se identifica con el suelo no urbanizable, por lo que tomando como referencia la división jurisdiccional que realiza la Dirección General del Catastro, se ha procedido a la digitalización del planeamiento urbanístico de cada uno de los 19 municipios que componen la comarca. Las diferencias en cuanto a las clases de instrumentos vigentes (Planes Generales Municipales y Normas Subsidiarias de Planeamiento) nos han llevado a reducir las clases y categorías de suelo en pos de la homogenización, por lo que únicamente diferenciamos entre suelo urbano (SU), suelo urbanizable (SUB), que contiene el denominado Suelo Apto para Urbanizar (SAU), y suelo no urbanizable (SNU), quedando este último dividido entre el suelo no urbanizable común (SNUC) y el suelo no urbanizable protegido (SNUP).

La delimitación de los ENP, procedente de la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura, ha sido complementada con la georreferenciación de los planos de zonificación incluidos en los Planes de Gestión de las zonas

⁴ El municipio de Gargüera carece de planeamiento urbanístico en vigor por lo que todo su término municipal ha quedado inscrito dentro de la categoría de suelo no urbanizable común. No obstante, la presencia de ENP dentro de sus límites y la aprobación de sus correspondientes Planes de Gestión garantiza al menos una mayor protección en los entornos afectados.

protegidas que atañen a nuestro estudio. La comparación entre la cartografía generada sobre la clasificación urbanística del suelo y la proporcionada por la Junta de Extremadura sobre la delimitación y zonificación de los ENP nos permite observar las discrepancias en cuanto a la permisividad de usos, en especial los referidos a vivienda, contenidas en el planeamiento urbanístico y la legislación ambiental, lo que denota una urgente necesidad, a pesar de la reconocida prevalencia de la salvaguarda medioambiental sobre la regulación urbanística, de aunar criterios al respecto.

Una vez completado este proceso hemos procedido a la digitalización, localización y cuantificación de las viviendas siguiendo el proceso antes descrito y sobre la base de las ortofotografías más recientes, para luego datar su fecha de aparición dentro del periodo estudiado. Una vez determinada la superficie de cada elemento hemos transformado nuestra topología de polígonos en una nueva de puntos que nos permite incluir nueva información a través de uniones espaciales (Spatial Join) con distintas cartografías. Entre ellas cabe destacar la cartografía sobre expedientes de calificación urbanística en el suelo no urbanizable, cedida por parte de la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura, ya que resulta imprescindible para discriminar aquellas viviendas que cumplen con la legislación vigente. No obstante, existen otras fuentes de información como la Dirección General del Catastro, a través de la cual hemos conocido la distribución y el tamaño del parcelario, en especial aquel que contiene alguna edificación destinada a vivienda.

Los análisis elaborados a través de los Sistemas de Información Geográfica se basan en la superposición de las capas generadas, para establecer la legalidad o no de las edificaciones y su impacto territorial en atención a la zonificación de los ENP. Con el objetivo de medir el grado de ocupación de las zonas periféricas, se han establecido 3 anillos exteriores radioconcéntricos de 100, 500 y 1.000 metros (Multiple Ring Buffer) medidos a partir de las líneas límite de los ENP. Gracias a esta nueva delimitación hemos calculado la densidad de edificaciones en función a los intervalos de distancia con respecto a las zonas protegidas. Para determinar la existencia de otros factores que pudieran incidir en la localización de viviendas hemos calculado la densidad de viviendas (Point Density), estableciendo un radio de vecindad para el cálculo de valores de 1.000 metros.

La datación de las construcciones, dentro del intervalo temporal entre el año 2002 y el año 2012 (que incluye el periodo de mayor pujanza del sector de la construcción en nuestro país), nos permite obtener su ritmo de crecimiento, no sólo para el ámbito comarcal en su conjunto, sino también dentro de cada una de las secciones espaciales estudiadas (Zonificación de los ENP y anillos de amortiguamiento). Las edificaciones han sido clasificadas dentro de tres valores: 0,1 y 99, correspondiendo con su inexistencia, existencia o profundas transformaciones con respecto al año 2002. Esta información nos ayudará a comprender qué espacios han resultado más afectados por la proliferación de viviendas y en qué medida las acciones e instrumentos empleados para proteger el medio son eficaces ante la expansión urbana.

RESULTADOS

Dentro del contexto extremeño, La Vera es una de las comarcas dónde la ocupación irregular del suelo no urbanizable es más preocupante. El número de viviendas edificadas en esta clase de suelo asciende hasta las 2.315, lo que significa una densidad de 2,62 viviendas/Km². Sin embargo, los datos relativos a expedientes de calificación urbanística nos indican que al menos 110 de estas viviendas han sido edificadas conforme a la legalidad vigente. Si examinamos los datos totales por categorías de SNU, podemos comprobar cómo el SNUP⁵ alberga la mayor parte de ellas (78,83%), aunque este dato está en relación con la superficie clasificada como tal. De hecho, la densidad de viviendas por kilómetro cuadrado en el SNUC (2,39) y el SNUP (2,73), presentan valores muy similares. La importante presencia de ENP, así como la cuasi adyacencia entre sus límites y los núcleos urbanos (cuando no coincidencia como en el caso de

⁵ La cifra de viviendas con autorización para la construcción dentro de SNUP es de 69, es decir, un 62,73% del total de expedientes de calificación urbanística han sido aprobados sobre esta categoría de SNU, perteneciendo el resto al SNUC.

Jaraíz de la Vera), ha propiciado que estos crecimientos tengan un impacto ambiental y territorial más acusado sobre el entorno.

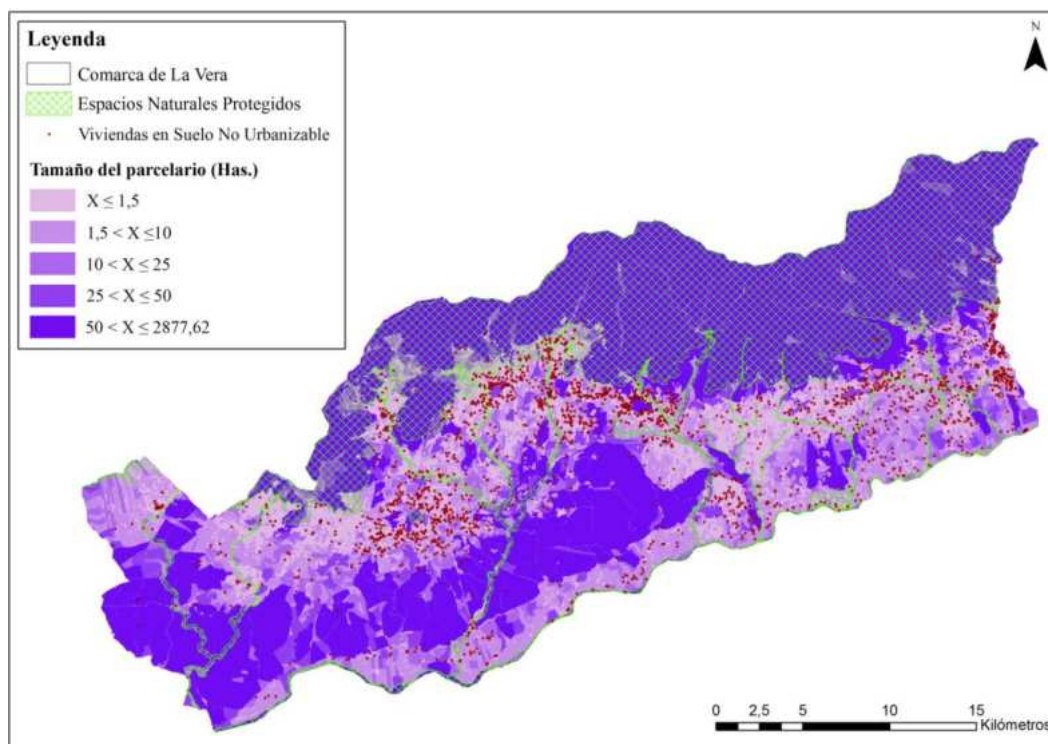


Figura 1. Distribución espacial de las viviendas en suelo no urbanizable y tamaño del parcelario. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los valores relativos, la edificación residencial en el interior de las áreas protegidas no parece el problema fundamental en materia de disciplina urbanística (sólo un 4,06% de las viviendas están ubicadas en el interior de los ENP⁶), si bien es cierto que los condicionantes físicos de los espacios protegidos (elevadas pendientes y cauces fluviales) dificultan la ocupación. Las medidas de protección y el temor que las posibles sanciones suscitan han evitado una mayor invasión de estos espacios, que actualmente registran una densidad de 0,30 viviendas/Km², la más baja de todas las fracciones espaciales estudiadas. De las 94 viviendas edificadas dentro de los ENP, sólo cuatro se ubican en las zonas de mayor protección (ZIP), repartidas en porciones iguales entre la ZEC del “Río Tiétar” y la ZEC “Sierra de Gredos y Valle del Jerte”. Dentro del segundo escalón en términos de protección, ZAI, se encuentran 12 viviendas, mientras que el grueso de las mismas (78) ocupa terrenos clasificados como ZI. Los espacios con menores restricciones (ZUG) no registran vivienda edificada alguna.

Fuera de los límites de los ENP, donde el entorno está bastante más antropizado, el parcelario mucho más atomizado (Figura 1) y el recelo hacia los posibles castigos administrativos se diluye, el número de edificaciones aumenta. Sin embargo, el influjo de los ENP sigue mostrándose como elemento fundamental para la ocupación del territorio, ya que en atención a los datos, la proximidad a las zonas con mayores valores ambientales determina la existencia de un número más elevado de viviendas. Así, dentro de la primera franja periférica estudiada, de 100 metros medidos desde el borde de las áreas protegidas, la cantidad de viviendas registradas se eleva hasta las 234, lo que supone multiplicar casi dos veces y media su número dentro de un espacio más de seis veces inferior, de lo que resulta una densidad de 4,58 viviendas por kilómetro cuadrado.

En los siguientes 400 metros, que constituyen el segundo cinturón periférico, el número de residencias registradas asciende hasta 784, significando en términos de densidad de viviendas

⁶ De las 94 viviendas edificadas sobre ENP, siete (6 en ZI y 1 en ZIP) han obtenido autorización a través de un expediente de calificación urbanística.

un sensible aumento (4,87 viv./Km²). De este modo, en los primeros 500 metros que rodean los ENP, se ubican un total de 1.018 viviendas, es decir, 43,97% de todas las presentes en la comarca de La Vera.

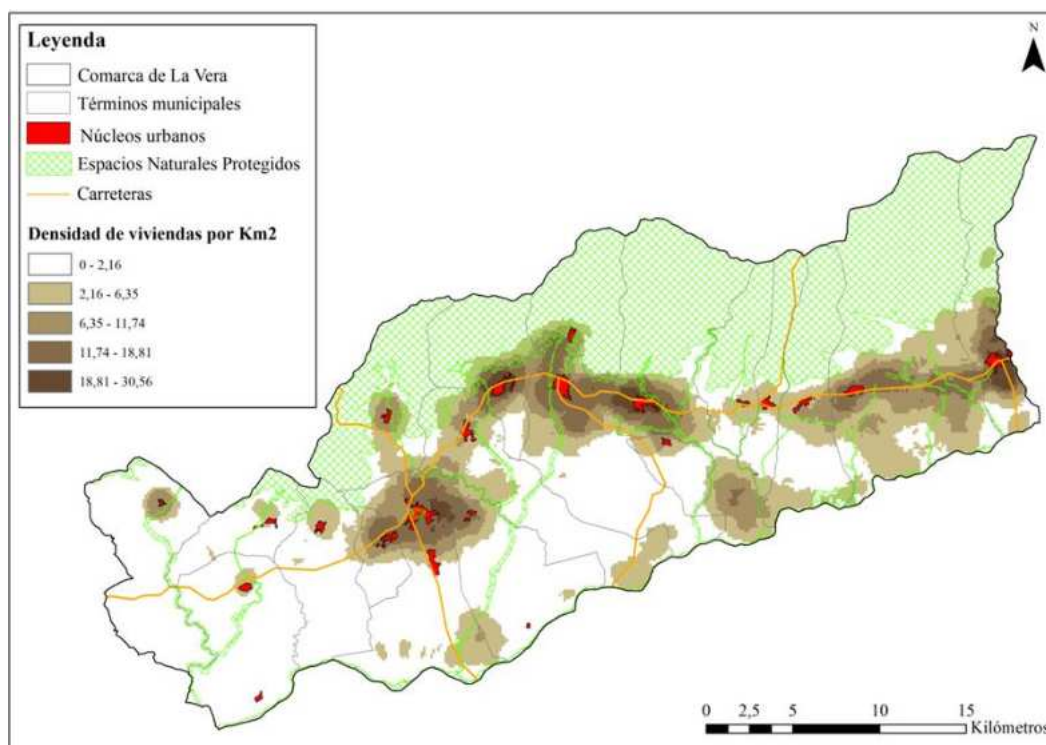


Figura 2. Densidad de viviendas en el suelo no urbanizable. Fuente: elaboración propia.

En el tercer anillo periférico, que parte del anterior hasta los 1.000 metros medidos desde el límite de los ENP, se aprecia ya una disminución del número de viviendas (647) y por tanto, de la densidad de las mismas (4,76viv./km²). Si comparamos la primera franja de 500 metros con la segunda, observamos un decaimiento leve de la densidad de viviendas, que pasa de 4,80 a 4,76 viviendas por kilómetro cuadrado. Para explicar este hecho no solo debemos atenernos a su distanciamiento de los ENP, sino también a su distribución espacial dentro de estas franjas y en el ámbito geográfico en general. Como podemos observar, la influencia de los núcleos urbanos es notoria (Figura 2). Un patrón que se repite en toda la región, y que es típico de la expansión rururbana, en la cual sus protagonistas aprovechan la proximidad al suelo urbano, esto es, a los servicios y equipamientos colectivos para implantar su vivienda. Como ya hemos comentado, el aprovechamiento agrícola en el entorno inmediato a los núcleos se realizaba sobre parcelas de pequeño tamaño, que ahora reciben los nuevos usos residenciales. No obstante, el 94,21% de las viviendas están edificadas sobre parcelas de menos de 10 hectáreas.

El rango-tamaño de los municipios también interviene en el grado de ocupación de sus espacios periféricos, ya que son las localidades más pobladas y con mayor dinamismo (Jaraíz de la Vera, Jarandilla de la Vera, Losar de la Vera, Aldeanueva de la Vera, Villanueva de la Vera y Madrigal de la Vera) las que tienen una densidad de viviendas superior. Conectado a lo anterior, pero con influencia propia, se encuentra la red de carreteras, cuya presencia facilita el rápido acceso a las ventajas que ofrecen los núcleos urbanos permitiendo por tanto un mayor distanciamiento respecto a ellos. La conjunción de estos dos elementos propicia un incremento notable del número de edificaciones existentes, resultando fundamental la vigilancia sobre estos espacios.

Por tanto, dentro del primer kilómetro que envuelve a los ENP y que podríamos asimilar a una futura zona de amortiguamiento⁷, están construidas un total de 1.665 viviendas, es decir, el 71,92% del total registrado en la comarca de La Vera. La densidad de viviendas de este cinturón ($4,78 \text{ viv/Km}^2$) multiplica por 15,93 los valores registrados en el interior de las áreas protegidas y por 5,69 el dato que presentan las zonas no incluidas dentro de los entornos protegidos y su zona de amortiguamiento ($0,84 \text{ viv/Km}^2$).

Por otro lado, la impronta del periodo de mayor expansión urbana de España también se ha dejado notar en los entornos rurales. La comarca de La Vera, en tan sólo una década, ha incrementado en 629 viviendas de nueva construcción la ocupación del suelo no urbanizable, y en 132 de las existentes se han producido cambios significativos desde el punto de vista superficial. Esto supone un aumento del 37,31% desde 2002, es decir, un crecimiento promedio anual del número de nuevas residencias superior al medio centenar. En atención a la clasificación urbanística del suelo, este ritmo de proliferación ha resultado equivalente entre las dos categorías de SNU: +37,64% en SNUC y +37,22% en SNUP.

Las mayores variaciones en cuanto al aumento del número de viviendas se han producido en función de su inclusión, cercanía o exclusión de la zona de influencia de los ENP. Si comparamos los datos del año 2002 con los presentes para el año 2012, la cantidad de viviendas edificadas dentro de los ENP se incrementó en un 28,77%, resultando el ritmo de crecimiento más escueto por ámbitos geográficos estudiados. Esta ganancia se produjo fundamentalmente sobre las ZI (+20 viviendas), ya que las zonas con mayores restricciones, ZIP y ZAI, apenas registraron nuevas construcciones (0 y 1, respectivamente).

El registro de nuevas construcciones destinadas a vivienda en la década 2002-2012 ha disminuido paulatinamente a medida que nos alejamos de su zona de influencia, aunque bien es cierto que en este espacio se obtienen algunos de los mayores índices de crecimiento. Así, el primer anillo presentó un aumento del 39,29%, mientras que el segundo se quedó en un incremento del 38,76%. Tras estos, el tercer anillo sufrió un descenso importante en el nivel de proliferación de edificaciones, por cuanto se situó por debajo de la media comarcal (33,95%), para posteriormente volver a subir hasta un crecimiento del 40,05% una vez superada la distancia de los 1.000 metros medidos desde el límite de los ENP. La heterogeneidad en el tamaño de los ámbitos estudiados no interviene en este caso a la hora de cotejar los ritmos de crecimientos, ya que si calculamos el aumento de la densidad de viviendas para cada ámbito y lo comparamos estableciendo como números índice los valores presentes en 2002, los resultados apenas varían (Figura 3).

Por último, la ocupación o artificialización efectiva del territorio se estima en 383.891,81 metros cuadrados, resultantes de sumar la superficie de las 2.315 viviendas construidas sobre el suelo no urbanizable de la comarca de La Vera⁸.

⁷ La asunción de esta zona de amortiguamiento (1 kilómetro respecto al límite de los actuales ENP declarados) supondría un incremento del área con mayores restricciones para la implantación del uso residencial de $348,15 \text{ Km}^2$. Debido a la especial distribución de los núcleos, los entornos inmediatos a ellos verían incrementada su protección ambiental, que en la actualidad es mínima al estar mayoritariamente incluidos en suelo clasificado como no urbanizable común.

⁸ El tamaño medio de las viviendas en suelo no urbanizable es de 165,83 metros cuadrados, aunque la desviación típica es demasiado elevada, lo que resta representatividad a este dato para toda la muestra.

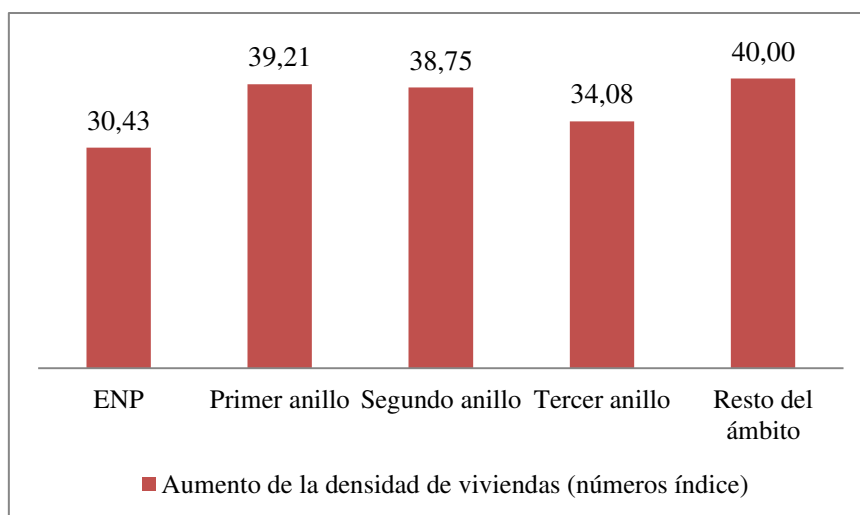


Figura 3. Incrementos de la densidad de viviendas (números índice, 2002-2012). Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Tras los resultados obtenidos en el estudio sobre la proliferación de viviendas en el entorno de los ENP de la comarca de la Vera (Figura 4), y siguiendo las recomendaciones que la Agencia Europea de Medio Ambiente realizó en el año 2006 a través de su informe titulado “Urban sprawl in Europe -the ignored challenge-”, resulta justo y adecuado calificar la expansión urbana de esta zona como incontrolada. No obstante, se cumplen sobradamente los requisitos dados para otorgar este adjetivo (la tasa de cambio del uso del suelo supera la tasa de crecimiento demográfico), no tanto en los “petrificados” cascos urbanos como en el resto del territorio que compone sus términos municipales. Por tanto, el suelo no urbanizable ha soportado el mayor peso de la actividad inmobiliaria de esta zona del norte de Extremadura durante los últimos años, siendo el entorno de los ENP uno de los espacios predilectos para la construcción de nuevas viviendas.

La aparición de nuevas figuras ha mejorado sustancialmente la protección del entorno, especialmente las que se incluyen en la Red Natura 2000, aunque bien es cierto que los condicionantes físicos (fuertes pendientes) y de uso (masas forestales sobre parcelas de gran tamaño) han facilitado la preservación de los mismos y evitado la proliferación de viviendas con más éxito que la planificación urbanística y los instrumentos de gestión ambiental.

El estado del planeamiento urbanístico, con sólo un municipio adaptado al marco legal vigente⁹ se encuentra relativamente desfasado (15,05 años de media), aunque la amplia presencia de Normas Subsidiarias de Planeamiento, vigentes en todos los municipios a excepción de Madrigal de la Vera (con PGM) y Gargüera (uno de los 10 municipios extremeños sin instrumento de planificación urbanística), garantiza la triple clasificación del suelo y la categorización del suelo no urbanizable en común o protegido. Este hecho adquiere importancia en virtud del artículo 197 de la LSOTEX, en el que se especifica que transcurridos 4 años desde la terminación de las obras, la Administración no podrá demoler las mismas con la excepción de aquellas que se sitúen sobre SNUP y otros espacios que pertenezcan al dominio público o afecten a bienes de interés cultural.

⁹ La Comisión de Urbanismo y Ordenación Territorial de Extremadura aprobó definitivamente el Plan General Municipal de Madrigal de la Vera el 24 de junio de 2010, aunque su publicación en el Diario Oficial de Extremadura se demoró hasta el 18 de noviembre de 2011.

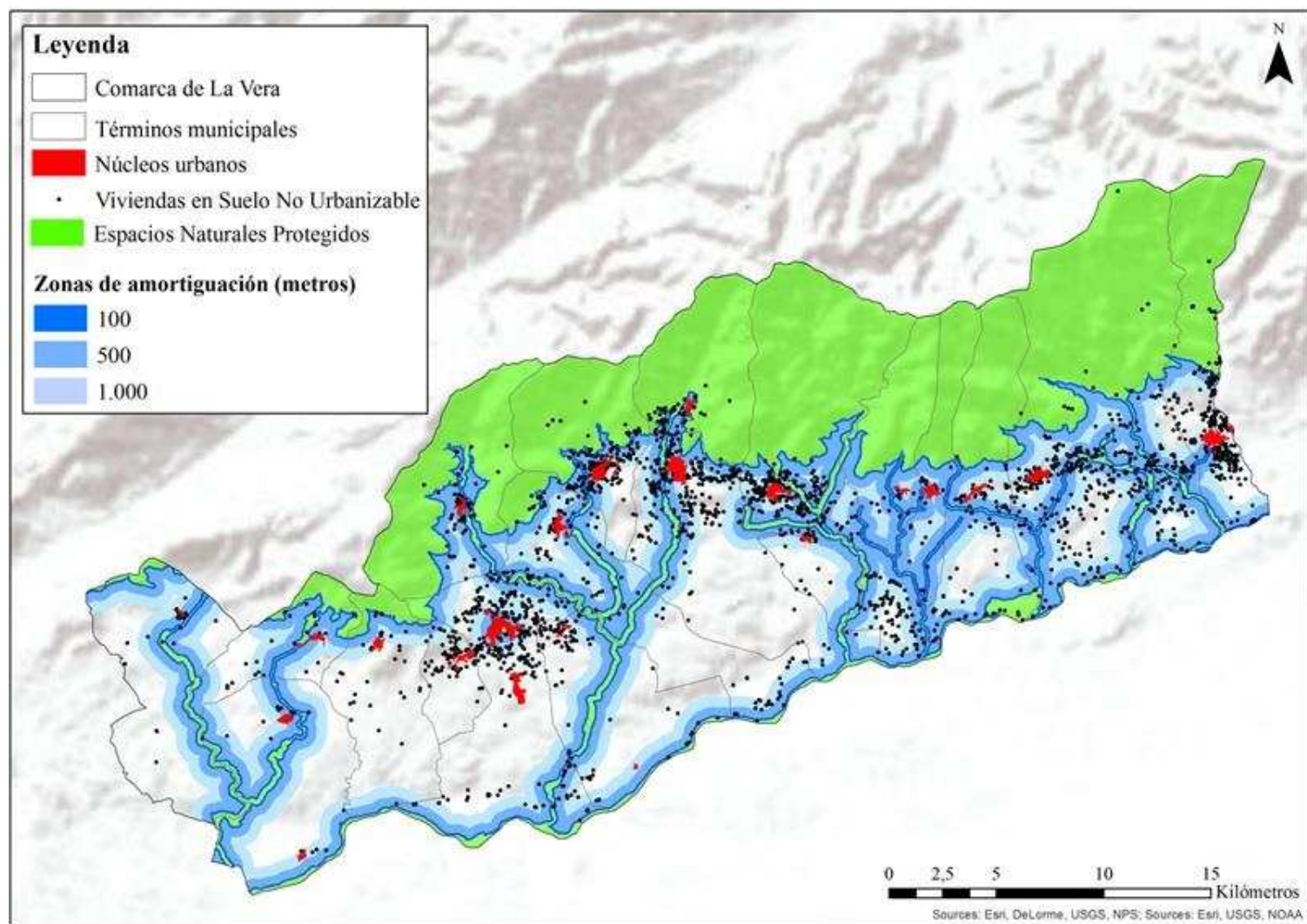


Figura 4. Distribución espacial de las viviendas en suelo no urbanizable. Fuente: elaboración propia.

Por tanto, los problemas generados provienen no tanto de la figura actual, sino de su adaptación a la realidad existente. Este proceso se complica aún más debido a la obligación de llevarla a cabo a través de la revisión del planeamiento urbanístico municipal y la creación de nuevos PGM, documentos que por su complejidad en la redacción y su posterior gestión sobrepasan las capacidades de estos pequeños municipios.

Su planeamiento territorial, *rara avis* en el contexto extremeño¹⁰, fue aprobado definitivamente en el año 2008 (modificado en el año 2014), consiguiendo de esta manera un primer atisbo de homogenización en la planificación y gestión territorial para los 19 municipios, dada la preponderancia de esta clase de instrumentos sobre el planeamiento urbanístico. Sin embargo, la incapacidad de esta figura para clasificar urbanísticamente el suelo dificulta un mayor impacto en las políticas de mantenimiento de la disciplina urbanística. Las medidas adoptadas se han traducido en directrices genéricas que no resuelven el problema de la ocupación edificatoria del medio.

En todo caso, según los resultados obtenidos, no existe una relación entre la densidad de viviendas en suelo no urbanizable y la figura de planeamiento vigente, ni siquiera existe una clara diferenciación entre los valores registrados en SNUC y SNUP. Esto demuestra la incapacidad de la Administración para controlar los crecimientos, incluso en las zonas que han sido clasificadas como de mayor valor y por tanto protegidas. El fenómeno se extiende indistintamente y en un grado similar en cualquier categoría del SNU. De hecho, la mayor parte de las figuras de planeamiento fueron aprobadas en los inicios del presente siglo, por lo que el crecimiento registrado en este estudio se inició con éstos ya vigentes.

Los elementos de atracción (núcleos urbanos, carreteras y espacios naturales) sobrepasan las restricciones impuestas por el planeamiento urbanístico, logrando una mayor concentración de viviendas a su alrededor. Como ya mencionamos anteriormente, la ocupación de los espacios naturales protegidos no resulta alarmante cuantitativa (la menor densidad de viviendas registrada) ni cualitativamente (la ocupación se realiza mayoritariamente sobre las zonas con mayor permisividad de usos), aunque sí es palmaria su influencia en la mayor ocupación de sus entornos.

Los incrementos de densidad de viviendas registrados entre las zonas incluidas en ENP y sus zonas inmediatas (primer anillo) son lo suficientemente importantes para afirmar una relación fuerte entre los altos valores naturales y la proliferación de viviendas, al mismo tiempo que ponen de manifiesto el temor de la población hacia las posibles sanciones derivadas de ocupar estos espacios. Una vez superado el límite exterior de los mismos, las residencias se multiplican, en buena parte favorecidas por una transformación agrícola pretérita que hoy se encuentra en desuso.

A medida que nos alejamos de los ENP, la presión urbanística va decayendo hasta valores inferiores a la vivienda por kilómetro cuadrado, aunque los ritmos de proliferación del fenómeno durante la década estudiada nos deben mantener en alerta. Los incrementos registrados dentro de los ENP son claramente inferiores al resto, aunque también son los más peligrosos por la incidencia directa que tienen sobre los valores naturales. En cuanto a los anillos, se observan ritmos de crecimiento muy importantes, que descienden a medida que nos alejamos, aunque bien es cierto que fuera de la influencia de las zonas protegidas se están registrando los mayores crecimientos. Este hecho confirma un cierto nivel de discrecionalidad en cuanto a la localización de las viviendas, pero también la existencia de otros factores, como el tamaño del municipio, del término municipal y su parcelario, que determinan su ubicación. De este modo, son estos espacios cercanos a los ENP con alguna alteración previa y parcelario atomizado los que deben ser vigilados con mayor asiduidad y exigencia.

La delimitación y declaración de ENP está alcanzando su objetivo ya que al menos desde el punto de vista urbanístico han conseguido mantener en valores escuetos el número de viviendas. Sin embargo, se hace necesaria la creación de zonas de amortiguamiento, ya que los espacios

¹⁰ Extremadura sólo tiene aprobados definitivamente y en vigencia tres Planes Territoriales, correspondientes con las zonas del Campo Arañuelo (Publicación AD DOE 27/11/2008), La Vera (Publicación AD DOE 27/11/2008) y el Área de Influencia del Embalse de Alqueva (Publicación AD DOE 18/09/2009). Además, existen otros 9 espacios dónde el proceso de aprobación está en trámites.

tangenciales están asumiendo importantes volúmenes de viviendas, gracias a las menores restricciones y a la presencia cercana de los recursos naturales. Además, se deben reforzar las medidas de vigilancia no sólo sobre estos espacios, sino sobre todo el suelo no urbanizable, ya que se observan ritmos de crecimiento alarmantes sobre todo el territorio.

Queda patente que los instrumentos de planificación y ordenación, tanto en materia urbanística como ambiental, de nada sirven si no van acompañados de medidas efectivas, no sólo en la gestión, sino también en el control de la disciplina urbanística. Sólo de esta manera se podrá reducir el número de viviendas en el suelo no urbanizable, ya que por el momento, la inacción administrativa sólo fomenta el constante crecimiento de este tipo de viviendas, que además son las más ineficientes en cuanto al consumo del territorio y contrarias al modelo de urbanismo compacto tradicional presente en la comarca.

La estrecha relación entre los habitantes del medio rural y sus gestores dificulta la imposición de sanciones. Esta escasez de sanciones (económicas y de demolición de edificaciones), salvo contadas excepciones ejemplarizantes¹¹ no ayudan a resolver un problema que adopta categoría de habitual entre la población, aumentando de este modo el sentimiento de impunidad y las posibilidades de seguir avanzando. Sin embargo, las herramientas legales y judiciales ya están presentes, incluso antes de la aparición de la LSOTEX, por lo que lo verdaderamente importante es iniciar los procedimientos de sanción y castigo, así como los procesos de legalización de viviendas en el caso que fueran factibles. La zonificación de los ENP a través de los Planes de Gestión es claramente insuficiente si no viene acompañada de una verdadera vigilancia. Además, sus determinaciones no sobrepasan sus límites por lo que desde el planeamiento urbanístico se debe acompañar esta delimitación con una categorización coherente del SNU. Por último, el distanciamiento de las competencias sobre disciplina urbanística de la Administración Local y la creación de un organismo regional de vigilancia en coordinación con el Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil, unido a las posibilidades que ofrecen los SIG, podría contribuir a la mejora de los trabajos de fiscalización del fenómeno y su control efectivo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a través del Programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU): Referencia FPU13/00990.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arroyo, M. (2001): La contraurbanización: Un debate metodológico y conceptual sobre la dinámica de las áreas metropolitanas. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 5 (97). <http://www.ub.edu/geocrit/sn-97.htm#1>

Berry, B.J.L. The counterurbanization process: Urban America since 1970. En: B.J.L., Berry (Ed.), *Urbanization and Counterurbanization*. Beverly Hills, California: Sage, 1976, pp. 17-30.

Champion, A.G. (1989): *Counterurbanization: the changing Pace and Nature of Population Deconcentration*. Edward Arnold, London, 241 pp.

Delgado, C. (2008): "Urbanización sin fronteras". El acoso urbanístico a los espacios naturales protegidos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 47, pp. 271-310.

Delgado, C. (2012): Protección y ordenación del medio natural en Cantabria. Normativa, instrumentos y conflictos territoriales. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 60, pp. 115-140.

¹¹ "Condenan al alcalde de Losar de la Vera por edificar un chalé en suelo no permitido". Diario HOY Extremadura, 9 de marzo de 2016.

- Panareda, J.M. y Arozena, M.E. (2008): Transformaciones en el paisaje de los espacios protegidos en los últimos años. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 270 (22). <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-22.htm>
- Pérez, J.J. (2014): Obligaciones de los estados miembros en materia de gestión de los Espacios Natura 2000 derivadas de los apartados 1 y 2 del artículo 6 de la Directiva Hábitats. *Revista Vasca de Administración Pública. Herri-Arduralaritzako Euskal Aldizkaria*, 99-100: 2417-2456.
- Prados, M. J. (2009): *Naturbanization. New identities and processes for rural-natural areas*. Taylor & Francis Group, Londres.
- Rivera, M. (2015): El tratamiento de las actividades de turismo activo en los instrumentos de planificación ambiental de los parques naturales andaluces. *Revista de Estudios Regionales*, 102: 17-63.
- Troitiño et al. (2005). Los espacios protegidos en España: significación e incidencia socioterritorial. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 39: 227-265.

APLICACIÓN DE LOS S.I.G. A LA RESTAURACIÓN DE RÍOS Y RIBERAS. EL PROYECTO DE INTEGRACIÓN DEL RÍO EN LA CIUDAD DE CABRA.¹

Federico Julián Fuentes²

² Ingeniero de montes. Ambienta Ingeniería y Servicios Agrarios y Forestales S.L. - www.ambientaing.es - fjulian.ambienta@gmail.com

¹Extraído del *Proyecto de restauración ambiental e integración urbana y paisajística del tramo alto del río Cabra (T.M. de Cabra, Córdoba)*, redactado en 2011 por INCISA – Ingeniería Civil Internacional S.A. por los ingenieros D. Federico Julián Fuentes, D. José Luis González Burdiel, D. Javier Carbajal Tradacete y D. Borja Roca de Togores Murillo. Proyecto enmarcado en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos y Riberas, bajo la dirección facultativa de D. Miguel Ángel Fernández y D. Rafael Poyato Salamanca, de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

RESUMEN

El diseño y definición de las medidas a aplicar, para llevar a cabo una eficaz restauración ecológica y paisajística de los ríos y riberas, que cumpla con los criterios descritos en la Directiva Marco del Agua, debe contemplar una primera fase de planeamiento y análisis territorial, previo a la redacción del proyecto técnico. En ese planeamiento, el uso ordenado y bien dirigido de los sistemas de información geográfica y las nuevas tecnologías de información, ayuda en el complejo proceso de toma de decisiones y de definición de las medidas que, posteriormente, deberán ejecutarse para la restauración del río. El presente texto resume la experiencia de planeamiento y análisis del territorio, con una importante componente de utilización de los S.I.G., durante la redacción del proyecto de integración urbana y restauración ecológica, hidrológica y paisajística del río en la localidad cordobesa de Cabra.

Palabras Clave: Restauración de ríos. Ecosistemas urbanos. Planificación. Análisis. Diseño.

ABSTRACT

The design and definition of the measures to be applied, to carry out an effective ecological and landscape restoration of rivers and riverbanks that meets the criteria described in the Water Framework Directive, should include a first phase of planning and territorial analysis, before drafting the technical project. In this planning, orderly and well managed use of geographic information systems and new information technologies, helps in the complex process of decision making and defining measures that, later, be implemented for the restoration of the river. This paper summarizes the experience of planning and analysis of the territory, with an important component of GIS use during the design of urban integration, ecological, hydrological and landscape restoration of the river in the Spanish city of Cabra.

Keywords: Rivers restoration. Urban ecosystems. Planning. Analysis. Design.

1. BASES DE PARTIDA

En la restauración ecológica de los ríos, la *condición de referencia* se refiere al río próximo a su estado natural, que se corresponde con su buen estado ecológico, y que engloba una estructura, composición, morfología y dinámica próximas a su estado natural, con un ecosistema de ribera asociado próximo al clímax ecológico, y con un espacio fluvial lo suficientemente amplio para permitir que el río pueda desplazarse con libertad a lo largo del tiempo y el espacio.

Los objetivos propuestos en el proyecto de alguna manera definirán o establecerán el tipo de río que se pretende conseguir. En muchos casos, dichos objetivos no van a tratar de alcanzar la condición de referencia relativa al tramo, sino que más bien van a referirse a unas condiciones intermedias entre lo que sería natural y lo que es actual, tratando de hacer compatible la mejora y restauración del río o arroyo con el mantenimiento de ciertas ocupaciones de las riberas o usos del cauce. Resulta entonces necesario precisar, a partir de la *condición de referencia*, qué es lo que se quiere alcanzar con el proyecto a corto, medio y largo plazo, asumiendo la variación o evolución del sistema fluvial.

Esta idea de cómo queremos que quede el río o arroyo a restaurar después de los trabajos correspondientes es lo que denominamos *imagen objetivo del proyecto*, y se refiere a lo que se quiere lograr con el mismo en cuanto a estructura biológica, morfología, dinámica y funcionamiento del tramo fluvial correspondiente. Los aspectos de mayor importancia a considerar en la imagen objetivo se refieren a las siguientes características:

- Régimen de caudales que se propone (cuando se trate de un río regulado).
- Tipo de morfología que se desea obtener.
- Espacio que se propone conceder al río para el desarrollo de los procesos fluviales.
- Tiempo que se considera necesario para que el río recobre la estructura biológica y el funcionamiento deseados.

2. ASPECTOS CONCRETOS

En el presente caso se trata de un río que no está regulado, cuyas aguas discurren en régimen natural en toda la cuenca vertiente, desde el nacimiento de los diferentes afluentes hasta la desembocadura del río Cabra en el río Genil.

El río, en el tramo seleccionado, viene del nacimiento que se sitúa unos 200 metros aguas arriba, con una excelente calidad de aguas, que como veremos a continuación irá contaminándose a medida que se suceden los tramos definidos. Circula a través de una zona urbana en la cual el cauce presenta morfologías diferentes, desde los barrancos que se han formado por la propia dinámica erosiva del cauce, con los taludes estabilizados por el desarrollado bosque de ribera, a los tramos en los cuales el cauce se mantiene muy próximo en cota a las márgenes, riberas y llanuras de inundación, con unos taludes suaves que son aprovechados por los vecinos para el establecimiento de huertas de regadío.

El río discurre bajo una fuerte presión agrícola y urbana con el paisaje muy fragmentado, cuyos principales usos, aparte del propiamente urbano, son el industrial y agrícola, invernaderos y cultivos como el olivar y las huertas.

El tramo fluvial objeto de proyecto tiene sobre todo problemas de acumulación de vertidos y basuras procedentes de las numerosas fuentes de presiones e impactos que se desarrollan a lo largo de la ribera, acumulación de malos olores y pérdida de la calidad de aguas, problemas hidrológicos en algún subtramo (erosión y desestabilización del cauce y los taludes de sus riberas), ecológicos (tramos con vegetación degradada o dominadas por el cañaveral) y paisajísticos (falta de conexión del medio fluvial con el entorno urbano, industrial y agrícola, abundancia de puntos de vertidos de escombros y basuras...). Todos estos problemas alejan el río de la población de Cabra, que puede llegar a considerar que este estado degradado es lo normal en el cauce que cruza su localidad.

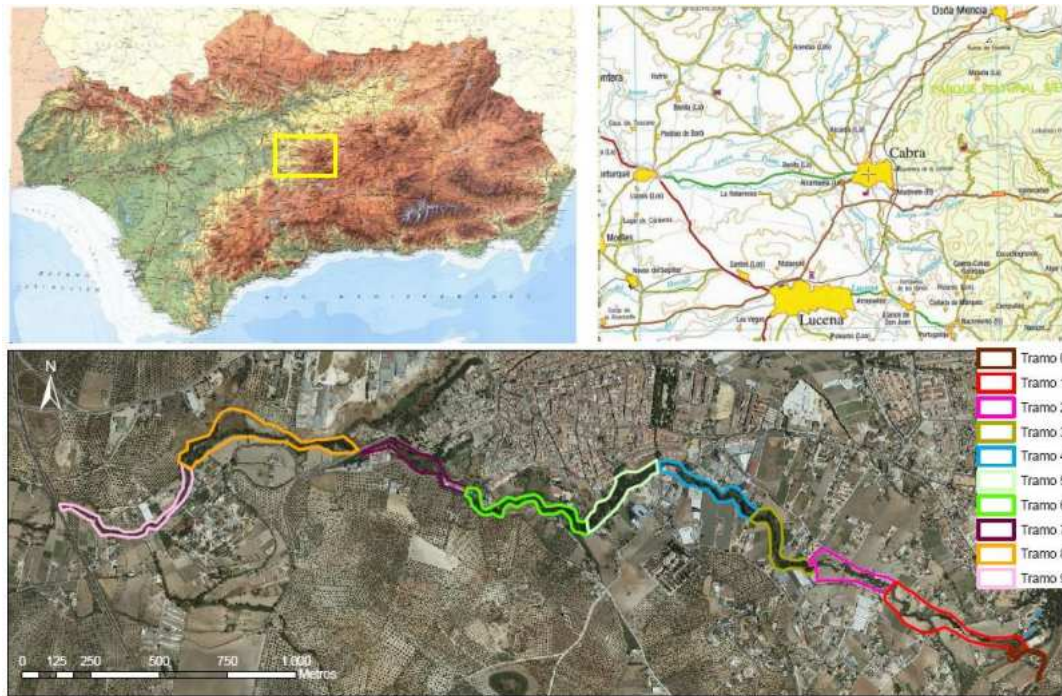


Figura 1. Localización de los 9 tramos del río Cabra objeto de restauración y su entorno en la ciudad de Cabra.

3. DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE REFERENCIA

Para describir la morfología del río correspondiente a la imagen objetivo es conveniente realizar una reconstrucción histórica de la evolución del río hasta la actualidad, utilizando entre otra documentación, las fotografías aéreas y las cartografías antiguas y actuales disponibles.

Así mismo es imprescindible realizar un estudio del medio físico y biológico del río y su entorno, así como un estudio socioeconómico de la zona que rodea al tramo de río, con objeto de analizar todas las variables posibles en aras de definir una solución viable desde el punto de vista ecológico y paisajístico, pero también social y económico. Con este fin se ha elaborado el Documento *ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIO ECONÓMICO DEL TRAMO DE PROYECTO*, disponible en el Anexo 2 de la Memoria del proyecto.

3.1 Recopilación de información. Fuentes de información consultadas

Las fuentes consultadas para la elaboración del Documento *ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIO ECONÓMICO DEL TRAMO DE PROYECTO*, que como se ha comentado, forma parte esencial de la determinación de la condición de referencia y la imagen objetivo del tramo fluvial a restaurar, fueron las siguientes:

- Guía metodológica para la elaboración de proyectos de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente (2007).
- Guía jurídica para el diseño y realización de proyectos de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente (2009).
- Red de Información Ambiental de Andalucía.
- Mapa Geológico de España.
- Mapa Geológico Minero de Andalucía.
- Mapa de Suelos de Andalucía.
- Archivos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir:
 - Datos del Modelo Hidrológico SIMPA de la Cuenca del Río Cabra.
 - Estudio de Caracterización de Regímenes Extremos en la Cuenca del Guadalquivir. Avenidas y sequías. M.O.P.T. (1991)

- Modelos de Restauración Forestal de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

- Trabajo de campo realizado por INCISA entre febrero y septiembre de 2010.
- Trabajos geotécnicos encargados por INCISA.
- Plan General de Ordenación Urbana de Cabra.
- Página web del Ayuntamiento de Cabra.
- Cartografía:
 - Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000.
 - Modelo Digital del Terreno de Andalucía.
 - Oficina Virtual del Catastro.
 - Vuelos y levantamientos topográficos de proyectos anteriores realizados en la zona.
- Fotografías aéreas:
 - Google Earth.
 - Visor SIG PAC.
 - Ortofotografía Digital de Andalucía Color (2006).
 - Ortofotografía Digital de Andalucía IR (2005).
 - Ortofotografía Digital de Andalucía B/N (2002).
 - Vuelo Fotogramétrico 1956. (Vuelo Americano).

3.2 Recopilación de antecedentes y estudio medioambiental y socioeconómico del entorno del Río Cabra.

Para la obtención de la condición de referencia y la imagen objetivo del tramo a restaurar, se desarrolló el Documento *ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIO ECONÓMICO DEL TRAMO DE PROYECTO*, en el cual se describía en profundidad el estado ambiental y socio económico del entorno del tramo de río afectado por el proyecto. La determinación de la imagen de referencia para la restauración ambiental del tramo se apoya en dicho documento, que recoge y analiza la siguiente documentación relativa al tramo fluvial objeto de proyecto y su entorno:

- Contexto físico y biológico del tramo fluvial.
 - Clima.
 - Geología.
 - Hidrogeología.
 - Edafología.
 - Hidrografía e hidrología.
 - Régimen de caudales.
 - Características de las riberas y las llanuras de inundación.
 - Calidad de las aguas.
 - Vegetación potencial y vegetación actual.
 - Fauna.
 - Paisaje.
 - Vías pecuarias.
- Estado socioeconómico del entorno del tramo objeto de proyecto.
 - Caracterización demográfica.
 - Estructura de la actividad económica.
 - Patrimonio cultural.
- Análisis de la problemática actual. Presiones e impactos.

3.3 Documentación procedente del Vuelo Fotogramétrico del año 1956

La documentación de referencia basada en el vuelo fotogramétrico realizado por los americanos en 1956 es de gran utilidad para la ayuda a la determinación de la condición de referencia y la imagen objetivo de una gran parte de los tramos de ríos a restaurar. Esto se debe

a que fue a partir de los años sesenta, posterior a dicho vuelo, cuando se aborda la construcción del mayor número de presas para la regulación de los caudales de los grandes ríos, se ponen en regadío grandes extensiones de terreno modificando el relieve de las márgenes y se inician las obras de trasvases y la sobreexplotación de los acuíferos. También es posterior a esta fecha cuando se realizan con mayor intensidad los trabajos de concentración parcelaria que incluyen la canalización y rectificación de miles de kilómetros de la red fluvial de pequeño tamaño, el dragado de muchos cauces, el cambio de forma de las parcelas lindantes con los ríos y la ocupación de numerosas riberas para uso agrícola, eliminando su vegetación natural.

A la hora de acometer el diseño de la restauración ambiental e integración urbana y paisajística del tramo alto del río Cabra, se analizó el vuelo fotogramétrico de 1956, (Figura 2), y se comparó con las fotografías aéreas actuales. Los resultados del análisis comparativo de ambas imágenes se describen más adelante.

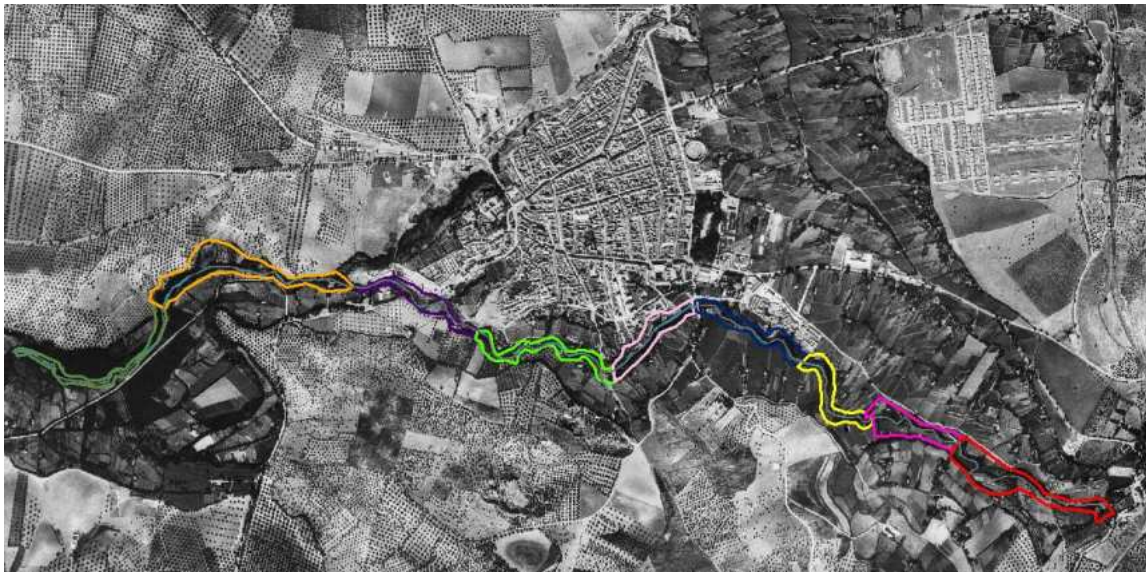


Figura 2. Imagen obtenida de los tramos del río Cabra objeto de proyecto a su paso por la localidad de Cabra en el Vuelo Americano de 1956. (Fuente: Ortofotografía 1956).

3.4 Documentación obtenida de cartografía digital y ortofotografía digital del terreno

Para obtener una imagen actual de conjunto del entorno del tramo de cabecera del río a restaurar se consultaron las bases cartográficas y de fotografía aérea de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, tanto en color como en blanco y negro, y las fotografías aéreas del I.G.N., del SIG PAC y de Google Earth. Dado que la imagen aérea que se obtiene con el visor del I.G.N. es la más actual y la que mejor resolución tiene, se ha optado por trabajar con esta imagen. Al no estar esta imagen georreferenciada, para el diseño de actuaciones se ha complementado con la base fotográfica la orto color y la orto IR suministrada desde la web de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, para analizar la situación actual de la zona de restauración y compararla con el Vuelo de 1956.

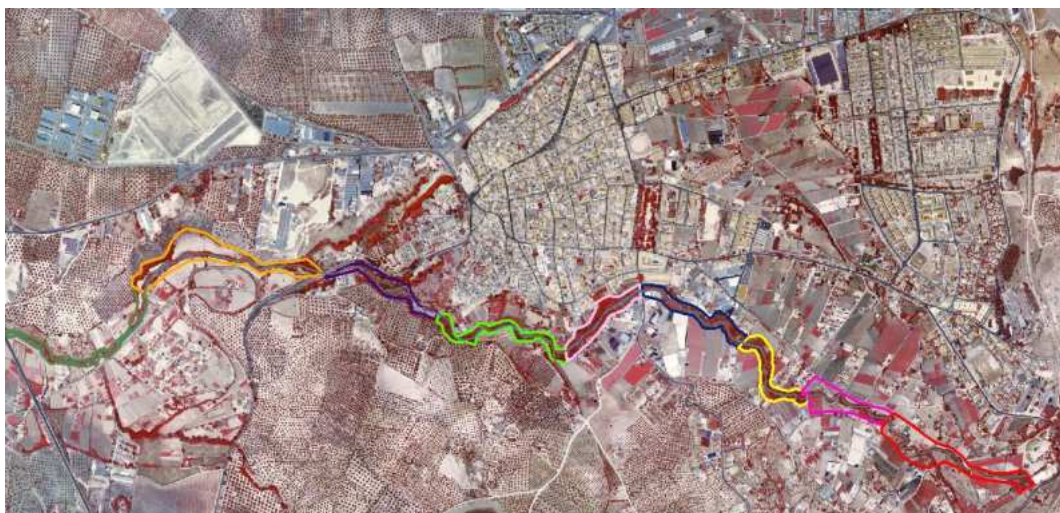


Figura 3. Imagen aérea actual de los tramos del río Cabra objeto de restauración y su entorno.
(Fuente: Ortofotografía Digital de Andalucía. IR. 2005).

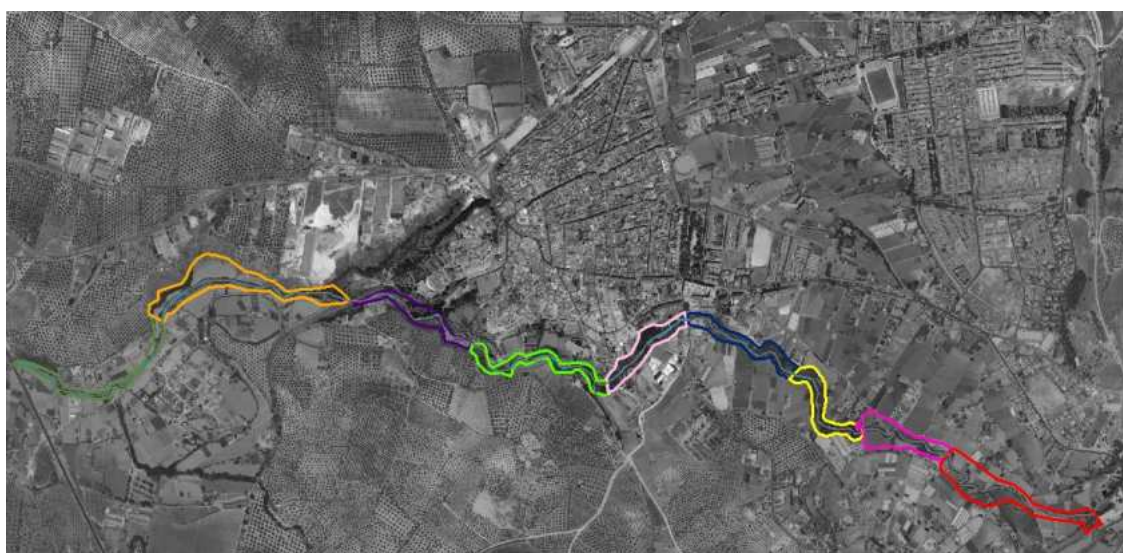


Figura 4. Imagen aérea actual de los tramos del río Cabra objeto de restauración y su entorno.
(Fuente: Ortofotografía Digital de Andalucía. B/N. 2002).

Con la imagen actual procedente del I.G.N. se ha realizado el análisis comparativo con la imagen aérea de 1956.

La Ortofotografía Digital del Terreno editada en Infrarrojo ha sido empleada, por su alta resolución, como una segunda base fotográfica para el análisis de los tramos, para la realización de los planos de campo y para la elaboración del Sistema de Información Geográfica del río Cabra.

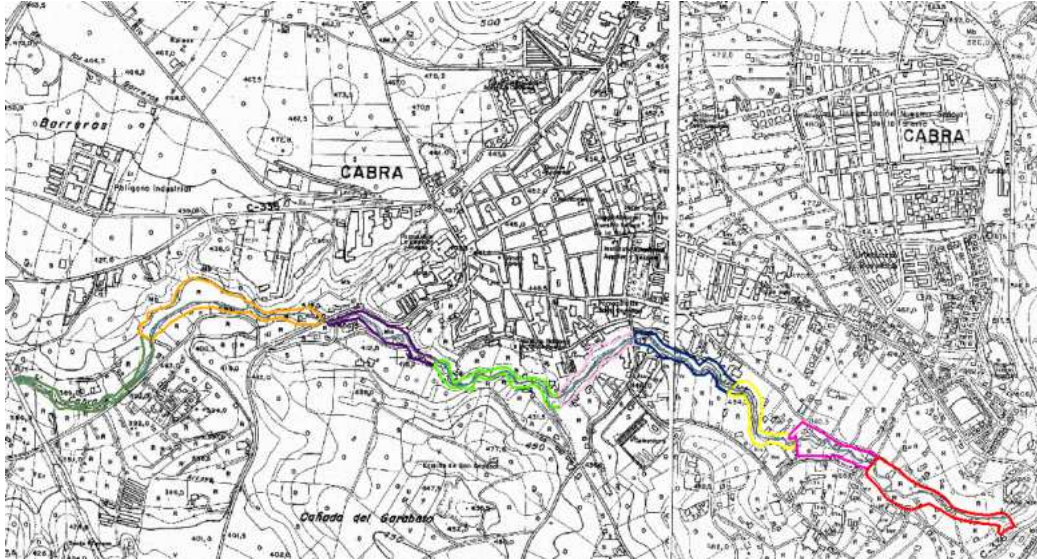
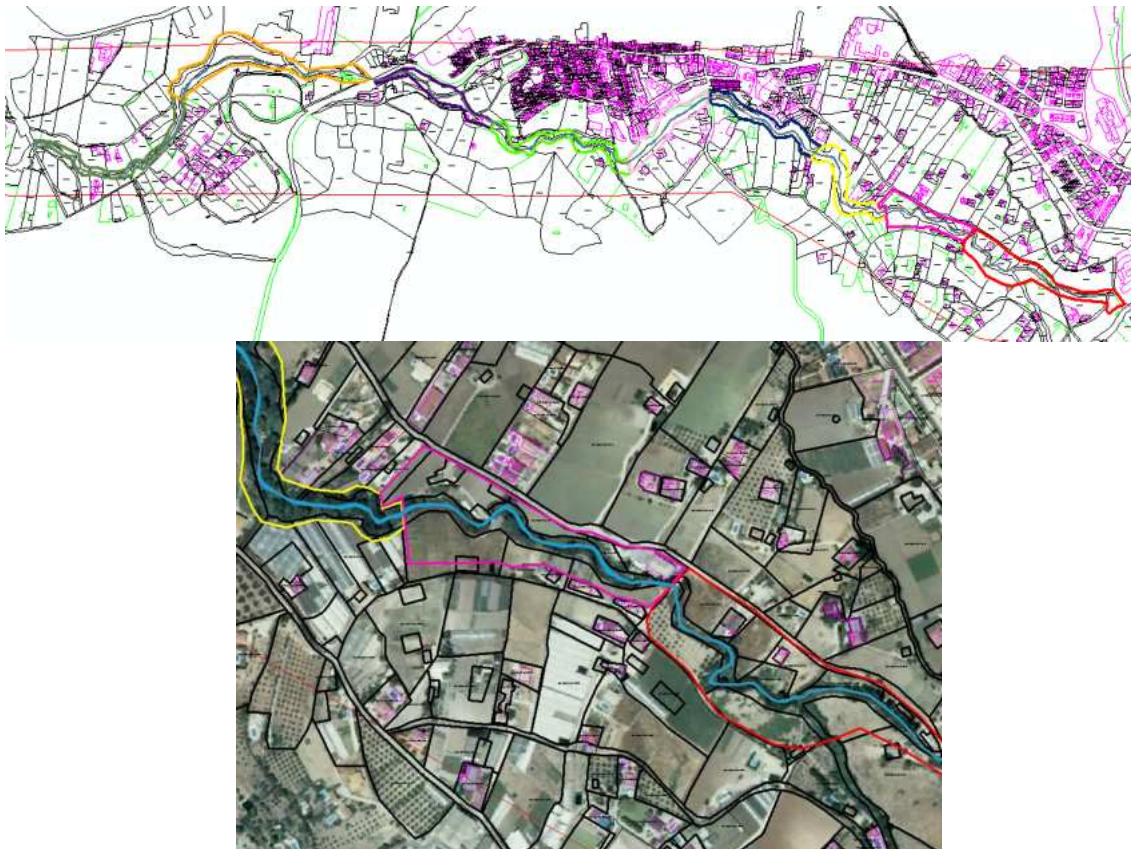


Figura 5. Cartografía actual de los tramos del Río Cabra objeto de restauración y su entorno.
(Fuente: Mapa Topográfico de Andalucía).

3.5 Documentación obtenida de catastro

Consultada la información catastral de la zona objeto de proyecto (Figuras 6a y 6b), puede afirmarse que, aparte de la zona urbana e industrial asociada a la localidad de Cabra, se trata de un área de elevada fragmentación parcelaria, con numerosos propietarios de parcelas agrícolas de pequeño y medio tamaño destinadas principalmente a las huertas y al cultivo del olivo.



Figuras 6a y 6b. Cartografía catastral de los tramos del río Cabra objeto de restauración y su entorno y superposición de la misma en el S.I.G. Cabra sobre la ortofotografía digital en color.
(Fuente: Oficina Virtual del Catastro).

3.6 Documentación obtenida del trabajo de campo.

Durante los meses de febrero a septiembre de 2010 se realizaron los trabajos de campo para analizar sobre el terreno las distintas variables a tener en cuenta para la determinación de la condición de referencia y la imagen objetivo del tramo de proyecto.

Para la organización del trabajo de campo, sobre la fotografía aérea actual se delimitaron los diferentes tramos y diferentes teselas en función de la homogeneidad del terreno, obteniéndose distintos tipos de parcelas de campo en función de los usos del suelo reflejados en la fotografía aérea: teselas agrícolas, vegetación de ribera, cauces fluviales, presiones e impactos, edificaciones e infraestructuras existentes.

Se obtuvo una cartografía partiendo de la ortofotografía en IR de la que se editaron planos de campo en formato A3 a escala 1/1.000 y 1/500 en las zonas de mayor complejidad. Una vez en campo, con estos planos, se recorrieron los tramos definidos por ambas márgenes, realizándose el inventario del mismo y dibujándose los distintos elementos encontrados (cauce, vegetación de ribera, huertas, olivar, monte mediterráneo, basuras y escombros, motas, cerramientos, escolleras, gaviones, azudes, zonas de inundación, zonas de desborde del río, obras de paso, edificaciones y estado de las mismas, invernaderos, carreteras y caminos rurales...) sobre los planos a los que se incorporó una leyenda asociada.

En los puntos en que el terreno cambiaba o se daban condiciones significativas, se realizaron croquis transversales del cauce del río y su ribera. En resumen, se registraron datos a lo largo de los tramos objeto de proyecto, en cada una de las diferentes teselas predefinidas en gabinete, de las siguientes variables:

- Estado del cauce y las márgenes del río: morfología y sección del cauce, formas del lecho, zonas de depósito de sedimentos, zonas de erosión y desprendimientos...
- Vegetación existente: estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo y lianoide y gradiente de proximidad de la vegetación al cauce (bandas de vegetación).
 - Estado de la vegetación (presencia de ejemplares enfermos).
 - Fauna observada.
 - Información de las parcelas agrícolas: cultivo, estado de los cultivos.
 - Tipo de suelo, pedregosidad, erosión, pendiente del terreno, posibilidad de mecanización, método de eliminación de residuos, existencia de caminos o vías próximas.
 - Infraestructuras existentes.
 - Acumulación de vertidos.

Se recorrieron los diferentes tramos fluviales con aparato GPS con objeto de marcar los distintos puntos de interés, así como para definir sobre el terreno la mejor traza posible para ejecutar un paseo de ribera fluvial.

3.7 Trabajos topográficos.

Como complemento al trabajo de campo, y con objeto de obtener los datos necesarios para realizar las diferentes actuaciones, se realizaron trabajos topográficos en el entorno del río objeto de proyecto.

Así mismo se hizo una búsqueda de información y cartografía topográfica existente del entorno de proyecto.

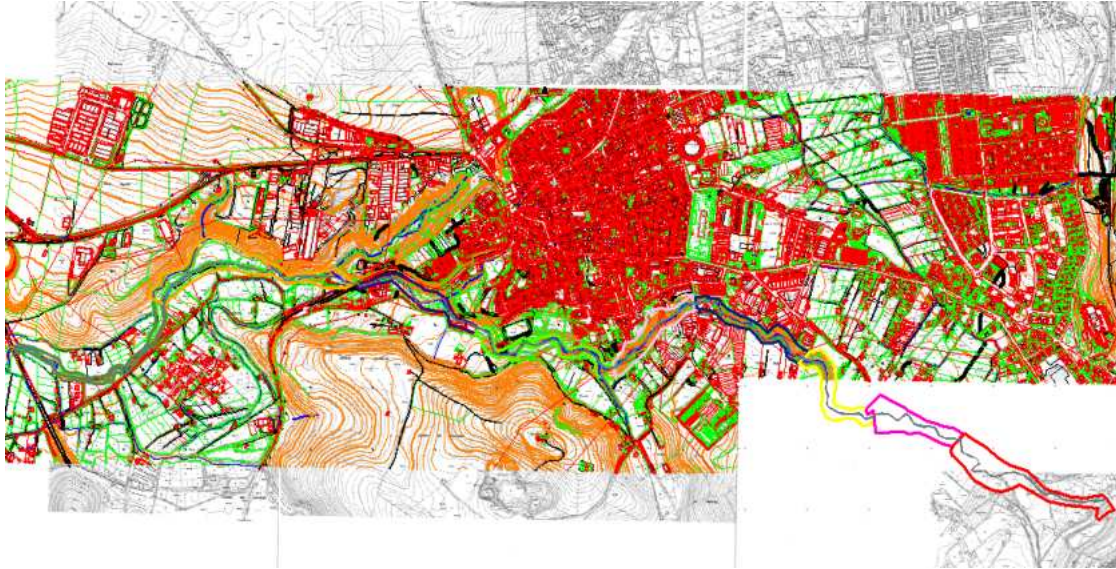


Figura 7. Vuelo fotogramétrico y topografía de los tramos del Río Cabra objeto de restauración y su entorno. (Fuente: Consejería de Obras Públicas. Junta de Andalucía).

3.8 Trabajo fotográfico.

Durante el desarrollo de los trabajos de campo se realizó además un completo trabajo fotográfico, con imágenes obtenidas en campo y de vuelos disponibles en páginas web tales como <http://www.bing.com/maps/> o Google Earth, obteniéndose una base de imágenes fotográficas de detalle y panorámicas a lo largo de los tramos de actuación y sus riberas. Esta recopilación de fotografías fue procesada y ha sido de gran ayuda en gabinete para la toma de decisiones de la solución a adoptar. El resultado de este trabajo está disponible como Anejo 3. Fotográfico., del presente proyecto.



Figura 8. El tramo 5, a pesar de tener un estable bosque de ribera, sufre los impactos que le producen la urbanización (margen derecha) y la zona de naves comerciales (margen izquierda) a ambos lados del río. La imposibilidad de acceder al río por ambas márgenes, la acumulación de vegetación muerta en el cauce, de basuras y escombros, y el vertido desde los colectores son un problema añadido a la inestabilidad de la primera parte de la margen derecha del tramo. (Fuente: <http://www.bing.com/maps/>)

3.9 Elaboración de un Sistema de Información Geográfica para el tramo alto del río Cabra.

Con los datos obtenidos en campo, y reflejados en los cuadernos y planos de campo sobre los que se representaban los elementos inventariados sobre el terreno, se procesó en gabinete la información obtenida, desarrollándose con software libre un Sistema de Información Geográfica del tramo alto del río Cabra.

En este programa se volcó toda la información reflejada en los planos de campo, que previamente había sido depurada sobre nuevos planos en gabinete, corrigiéndose errores y clarificándose los diferentes temas.

En el programa se integraron asimismo coberturas de información medioambiental ya existentes de relieve, suelo, vegetación potencial, catastro, límites administrativos, límites de cuenca, geología, fotografías aéreas de diferentes años, topografía, espacios naturales protegidos, etc. El resultado es una cartografía temática muy útil para la toma de decisiones del proyecto, que queda además disponible para trabajos futuros.

3.10 Documentación obtenida de la Agencia Andaluza del Agua y de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Para complementar la documentación previa al desarrollo del proyecto, se consultaron los archivos existentes en diferentes Servicios de la Agencia Andaluza del Agua y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Para los cálculos hidráulicos, se consultaron datos del *Modelo Hidrológico SIMPA de la Cuenca del Río Cabra*, así como el *Estudio de Caracterización de Regímenes Extremos en la Cuenca del Guadalquivir. Avenidas y sequías. M.O.P.T. (1991)*.

Se hizo una consulta en la Base de Datos IMPRESS 1, de presiones e impactos sobre el río, para determinar los elementos inventariados que ocasionan impacto sobre las masas de agua objeto de proyecto.

Se consultó en la web la Red Integral de Calidad de Aguas (Red ICA), aunque no se encontraron estaciones asociadas al tramo fluvial objeto de proyecto.

3.11 Reuniones con el Ayuntamiento de Cabra.

Durante el desarrollo de los trabajos de campo y definición de actuaciones se mantuvieron varias reuniones con el equipo de gobierno y los técnicos del Ayuntamiento de Cabra, con objeto de intercambiar informaciones y opiniones, así como llegar a un consenso en cuanto a la imagen objetivo a obtener.

Las decisiones tomadas y soluciones adoptadas para alcanzar la imagen objetivo del proyecto fueron consensuadas con el alcalde y con todos los concejales de los distintos partidos políticos del Ayuntamiento de Cabra.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Para la determinación de la condición de referencia y de la imagen objetivo del tramo a restaurar, como se ha visto, se ha estudiado y analizado diversa información y documentación existente, en la que se han utilizado herramientas tecnológicas y se han tenido en cuenta documentos escritos y gráficos de diferentes años en los que se ha basado el estudio del medio natural y socio económico de la zona que envuelve el tramo de río seleccionado, así como un exhaustivo trabajo de campo para determinar sobre el terreno la evolución del río en las últimas décadas, la problemática del entorno y las necesidades del tramo objeto de proyecto.

4.1 Estudio medioambiental y socio económico

Del estudio ambiental y socio económico presentado se pueden extraer las siguientes conclusiones, con vistas a determinar la condición de referencia del tramo de río a proyectar.

- El río Cabra nace en la Fuente del Río y discurre por la vertiente sur del casco urbano, de Este a Oeste; cerca de la Fuente del Río recibe las aguas del arroyo de Jarcas; a la salida del núcleo el arroyo de La Tejera desemboca en el río Cabra; y más adelante, en las proximidades de la carretera de Monturque, se unen los arroyos Guadalazar y Alamedal. Todo el área de proyecto se encuentra dentro del término municipal de Cabra.

- El clima es mediterráneo; seco en verano, escasamente sometido a la influencia atlántica, y con abundantes precipitaciones dado su carácter montañoso. Cuenta con una insolación entre las 2.800 y 3.000 horas anuales, y alrededor de 20-40 días de helada. Según la clasificación climática de Köppen el clima de Cabra es del tipo Csa (Templado con verano seco y caluroso). La oscilación térmica ronda los 18-19 °C; y la temperatura media anual está entre 16-18 °C en la campiña y 14-16 °C en la sierra. Los meses de julio y agosto son los más calurosos, mientras que los meses más fríos se corresponden con diciembre y enero. Las precipitaciones máximas diarias pueden ascender a 150 e incluso 200 mm. Las precipitaciones medias anuales se encuentra en la franja de 800 mm anuales.

- El contexto geológico de Cabra forma parte de la Zona Bética; los materiales que la componen son de edad Triásico-Miocénica y forman una cobertera sobre el zócalo paleozoico. Desde el Mioceno hasta el Cuaternario, se produce el levantamiento general de la región, con ligeras deformaciones postorogénicas. En el término municipal de Cabra los materiales existentes son de naturaleza sedimentaria; las rocas que los componen, con distintos grados de meteorización, son calizas, margas, margocalizas, margas yesíferas; y depósitos de arenas y limos en los terrenos aluviales del cuaternario, debidos a la dinámica fluvial del río Cabra fundamentalmente.

- Edafología. Según el Mapa de Suelos de Andalucía, en el entorno del tramo objeto de proyecto en el río Cabra pueden encontrarse cuatro tipos de suelo diferentes: fluvisol calcáreo, litosol, vertisol crómico y luvisol crómico.

- La red hidrográfica está fuertemente condicionada por las características geológicas del soporte físico. Los cauces fluviales de Cabra se encuentran enmarcados en la cuenca del Guadalquivir, subcuenca del Bajo Genil. El río Cabra es el elemento drenante de mayor entidad; discurre al sur del término municipal y su importancia reside en los aportes ofrecidos por la Fuente del Río y por los arroyos de los Frailes y Guadalazar. Los cursos de agua tributarios del Cabra en su margen derecha (básicamente arroyos) drenan la casi totalidad del término municipal, con la salvedad del anteriormente mencionado Guadalazar que lo hace por la izquierda. Característica de la red de drenaje es que se encuentra totalmente encajada en el terreno hasta el punto que sólo se adivina su trayectoria por la vegetación que la acompaña.

- Los cauces fluviales presentan singulares formas en las que predomina el barranco, aunque también existen tramos con llanuras de inundación dominadas por las huertas que se sitúan muy próximas a la cota del cauce. Los barrancos presentan algunos problemas de erosión remontante de los lechos, e inestabilidad de las márgenes y los taludes con fenómenos de desprendimientos. Estos barrancos, en ocasiones de paredes verticales, muestran imágenes de gran belleza cuando el bosque de ribera ocupa los taludes, lo que les hace dignos de ser contemplados.

- Los cultivos agrícolas en la ribera del Cabra están dominados por las huertas y el olivar principalmente, aunque los invernaderos ocupan también gran parte de la superficie. Se ha desplazado así a la vegetación climática de las zonas de vega por los cultivos agrícolas.

- La vegetación de ribera es muy rica y variada y con una estructura bien desarrollada en los tramos ecológicamente mejor conservados. Está formada principalmente por alamedas, olmedas, saucedas y fresnedas. Como especies acompañantes destacan la higuera, las zarzas y los tarajes, aunque también existen amplias zonas de vegetación degradada dominada por el cañaveral, y presencia de especies exóticas invasoras como el ailanto. Las riberas, en algunos tramos, pueden presentar márgenes pobres en vegetación, lo que desestabiliza estas márgenes, castigadas por la erosión.

- La fauna silvestre tiene una amplia y diversa representación de numerosas especies que utilizan los hábitats ribereños como hábitat propicio para su supervivencia y desarrollo.
- El tramo del río Cabra objeto de proyecto está presionado por diferentes tipos de elementos que impactan en su curso fluvial y su área de influencia: la principal fuente de presiones e impactos sobre el río es consecuencia de que el tramo cruza por el casco urbano de Cabra. Aparecen naveas agrícolas e industriales, invernaderos, construcciones y zonas residenciales en la llanura de inundación que ocupan la zona de servidumbre, usos agrícolas, fragmentación del paisaje, escolleras, cerramientos, azudes y restos de azudes que obstaculizan el cauce, puentes de carreteras con soleras de hormigón que crean erosión en el lecho del río, obras de paso con sección hidráulica insuficiente, motas, numerosas áreas de vertido de escombros, acumulación de basuras en el cauce, vertidos sobre el río que contaminan la calidad de sus aguas...
- La presencia de las Sierras Subbéticas aporta al paisaje de la zona un elemento de gran belleza que contrasta con el conjunto urbano, de huertas, invernaderos y olivar que domina el área de proyecto.
- La población del entorno basa su economía en gran parte en la agricultura, huertas, invernaderos y olivar principalmente, seguido por el sector servicios.
- Según el P.G.O.U. de Cabra y las reuniones mantenidas con los políticos y técnicos del Ayuntamiento, la localidad apuesta claramente por el desarrollo ecológico y turístico del entorno, por lo que la habilitación de espacios para uso público asociados al río que integren este en el conjunto de la población encajan con la planificación a medio plazo.
- Existen varios elementos del patrimonio cultural asociados a los cursos fluviales objeto de proyecto (nacimiento en la *Fuente del Río*, presencia de acequias de riego, azudes...).

4.2 Trabajo de campo y elaboración del S.I.G. del tramo alto del río Cabra.

Los trabajos de campo realizados han sido determinantes para definir la condición de referencia del entorno del cauce, puesto que con el recorrido a pie de la zona se ha observado la variabilidad que existe en todo el tramo de proyecto y su entorno fluvial, y se han inventariado el conjunto de elementos que ocasionan actualmente presiones e impactos sobre el río. Los datos recopilados se volcaron en un Sistema de Información Geográfica, que integrados con coberturas temáticas ya disponibles en bases de datos ambientales, han sido el apoyo definitivo en el proceso de toma de decisiones del proyecto.

Una vez realizado el trabajo de campo, y redactado y analizado el Documento *ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO DEL ENTORNO DEL RÍO CABRA*, presentado como Anejo 2 del proyecto, se recopiló y editó toda la información en el S.I.G., que fue utilizado para la definición de una serie de tramos y subtramos del tramo alto del río Cabra, para establecer la problemática general de los cauces y sus necesidades y diseñar las propuestas de actuación en la restauración ambiental de cada tramo.



Figura 9. Localización de construcciones, naveas agrícolas e invernaderos, que invaden la zona de servidumbre y la ribera del río en los tramos 2 y 3 objeto de proyecto.

Para establecer la condición de referencia, se dividió el tramo de actuación en 9 subtramos, tal y como se observa en la figura 1.

4.3 Comparación entre la Ortofotografía digital actual y la de 1956

La comparación entre la imagen de 1956 y la actual, 50 años después, nos ofrece la posibilidad de comprobar la evolución que tanto los tramos objeto de proyecto como su entorno han tenido en las últimas décadas. Sin embargo, tal y como se observa en el estudio gráfico que se detalla a continuación, no es necesario remontarse al año 1956 para observar cambios importantes, y casi siempre en contra de la evolución natural del río, en los usos del suelo y en las presiones e impactos que afectan el entorno de la ribera del río, por lo que se ha empleado para el análisis histórico la ortofotografía en BN del año 2.002, que al compararla con el estado en 1956 y el actual, ofrece una perspectiva general del incremento de las presiones sobre el río en los últimos 5 años.

(Nota: Debido a la longitud del tramo seleccionado para la redacción del proyecto, la comparación entre ambas imágenes se ha realizado atendiendo a la división en tramos ya establecida para la toma de decisiones en el proyecto de restauración).

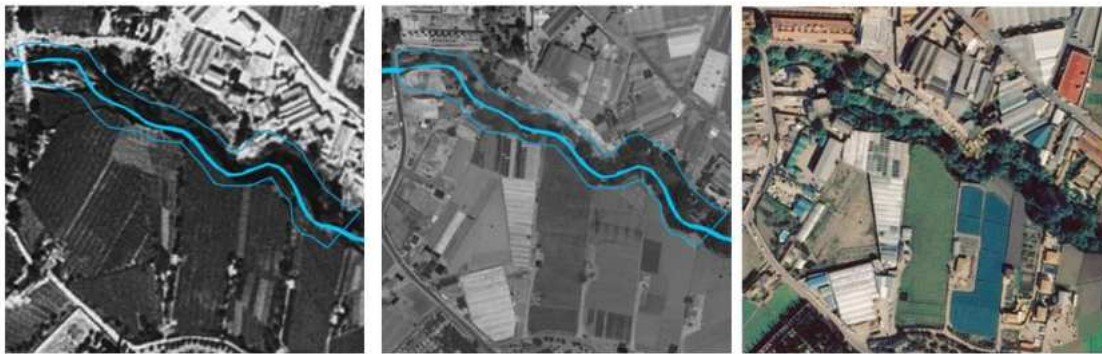


Figura 10. Comparación de fotografías aéreas del tramo 4 objeto de proyecto obtenidas en 1956, 2002 y 2008.



Figura 11. Localización de construcciones, naves industriales e invernaderos, que invaden la zona de servidumbre y la ribera del río en el tramo 4 objeto de proyecto.

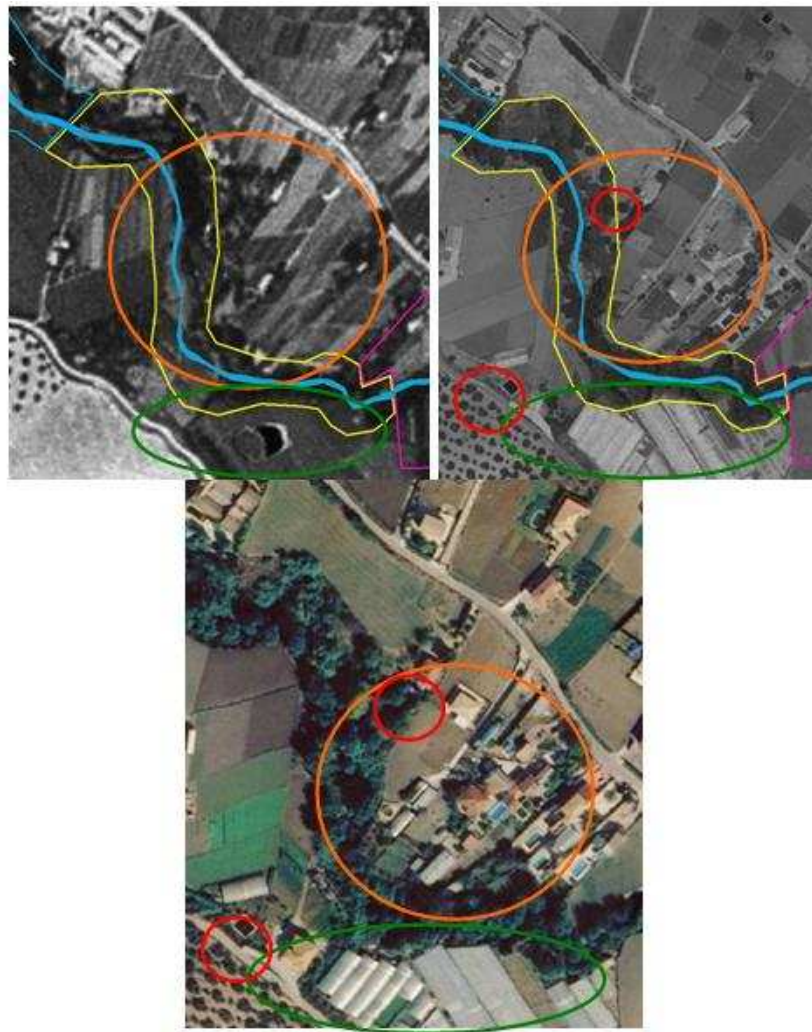


Figura 12. Comparación de fotografías aéreas del tramo 3 objeto de proyecto obtenidas en 1956, 2002 y 2008.

De esta evolución, fácilmente visible, las particularidades más destacables son las siguientes:

- A pesar de los nuevos elementos de presión e impacto sobre el río, éste no ha modificado su curso y su ribera arbolada parece estable e incluso mejor conservada a día de hoy.
- En el año 1956 las huertas dominaban el espacio de la llanura de inundación del río, y las construcciones en la misma eran prácticamente inexistentes. A este respecto, la elipse naranja señala la zona residencial y la elipse verde los invernaderos, que hace 50 años no existían.
- En las imágenes aéreas de 2002 y 2008 se observa la evolución de la zona de huertas, con numerosas nuevas construcciones, incluso en el intervalo entre 2002 y 2008 (elipse roja), en el que las normas de planeamiento urbano más comprometidas con el medio ambiente no han impedido la construcción de viviendas junto al río, viviendas que dificultan notablemente la integración de este espacio con las huertas y con el entorno urbano.
- Estas instalaciones, entre las que se incluyen viviendas, naves comerciales e industriales e invernaderos, han tenido como impacto añadido el haber impedido el libre acceso de los ciudadanos a la ribera del río, cortando toda posible relación de estos con el medio fluvial en este tramo. La conexión del sistema fluvial con el entorno urbano, que hoy no es posible, hace 50 años era lo natural, y los vecinos podían acercarse a la ribera a disfrutar de las aguas, sin duda más limpias y menos contaminadas de lo que hoy lo están.

- El crecimiento, aunque principalmente se ha consolidado en décadas anteriores, también se nota al comparar la foto de 2002 con la de 2008, en la que se aprecia la construcción de viviendas residenciales junto al río en la margen izquierda (elipse roja). Estas viviendas complican sobremanera cualquier proyecto de restauración ecológica e integración del río en el tramo señalado.



Figura 13. Localización de construcciones, naves industriales e invernaderos, que invaden la zona de servidumbre y la ribera del río en los tramos 4 y 5 objeto de proyecto.

5. DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE REFERENCIA.

La condición de referencia y su espacio fluvial se define en base a las diferentes variables descritas tomadas de numerosas fuentes de información.

Para una correcta definición de la misma para la restauración ambiental del tramo alto del río Cabra, se ha dividido el tramo fluvial objeto de actuación en varios subtramos (9), de tal forma que pueda obtenerse un mayor grado de detalle a la hora de definir los objetivos del proyecto y la tendencia que se busca para el río con las actuaciones a proyectar.

- El buen estado ecológico del bosque de ribera estable con una estructura bien desarrollada, que ocupa buena parte de los tramos fluviales objeto de proyecto, es condición de referencia para los tramos fluviales cuyas riberas están desnudas y ocupadas por el cañaveral, o por las que han sido ocupadas por usos del suelo agrícolas o urbanos, pues las características edáficas y geomorfológicas del arroyo son similares en los nueve tramos.
- La presencia de las especies vegetales en los tramos mejor conservados (olmos, álamos, sauces, fresnos, higueras, tarajes), nos dan otra medida de hacia dónde debe ir el enriquecimiento del bosque de ribera en los tramos degradados.
- El río Cabra presenta en determinados tramos problemas de erosión en los cauces que se muestra en las morfologías propias de los barrancos, consecuencia de la evolución natural del georrelieve de la zona. Estos barrancos, cubiertos por vegetación de ribera estable, presentan una singularidad y belleza digna de ser puesta en valor para el público.
- Las presiones e impactos que sufren el río y su ribera producen la tendencia a la degradación del mismo, con el riesgo de decadencia de un río cuyas características especiales dotan al entorno de un corredor fluvial que forma un hábitat que da cobijo a numerosas especies de fauna silvestre.

- Debido a la ocupación de los terrenos adyacentes a la ribera por los usos urbanos, industriales y agrícolas, existe una notable pérdida de conectividad transversal entre el ecosistema ribereño y la vegetación natural climática a lo largo de todo el río.
- El cambio en los regímenes de propiedad de las últimas décadas ha fragmentado aún más si cabe el paisaje asociado a la ribera del río, con una gran cantidad de propietarios de pequeñas parcelas situadas junto al río, lo que hace que las prácticas industriales y agrícolas dependan de numerosos propietarios, dificultando la coordinación de un plan de buenas prácticas para la conservación del río y su entorno.
- Existen numerosos puntos de vertidos de residuos a lo largo de todo el río, colectores de aguas residuales, restos de vegetación muerta y presencia de basuras y escombros en el cauce y su ribera. Todos estos elementos confieren al río un aire de suciedad y degradación que es preciso contrarrestar.
- Los bosques de ribera son un elemento de gran valor ecológico en la zona y están repartidos a lo largo de los nueve tramos fluviales objeto de proyecto. Estos bosques presentan como problema fundamental que están en muchos casos sometidos a innumerables presiones e impactos que degradan los mismos. Eliminar las fuentes de estas presiones y proteger las formaciones de olmos, álamos, fresnos... es una tarea importante a tener en cuenta en la redacción del presente proyecto.
- El entorno de los ríos, sobre todo los tramos junto a la localidad de Cabra, es aprovechado por los vecinos para pasear y relajarse, a pesar de que muchos tramos presentan altos niveles de degradación ambiental y suciedad. Restaurar estos espacios fluviales e integrarlos en la vida de la localidad para su mejor aprovechamiento es una medida que no puede pasar desapercibida a la hora de redactar el proyecto.
- Una vez consultado el P.G.O.U. de Cabra y mantenido reuniones con el Ayuntamiento se concluye que la localidad quiere apostar de forma decidida por la integración del río Cabra en la localidad, así como por el turismo sostenible en la zona, por lo que crear espacios fluviales de uso público favorecería la oferta turística de la localidad, y por lo tanto potenciaría su economía.

6. DETERMINACIÓN DE LA IMAGEN OBJETIVO.

6.1 Objetivos de la restauración ambiental e integración urbana y paisajística

Los objetivos que se plantean a la hora de definir una solución técnica para acometer la restauración del tramo de río seleccionado, una vez se ha analizado toda la información ya descrita, son los siguientes:

- Objetivo 1: Conservar los tramos fluviales existentes más estables ecológicamente y restaurar las riberas de los tramos más degradados e inestables,
- Objetivo 2: Restaurar hidrológicamente los taludes más inestables de los cauces estudiados,
- Objetivo 3: Recuperar espacio para el río. El objetivo de conservación de las masas fluviales va ligado al de restauración ambiental y recuperación de espacio fluvial, tanto del cauce como de sus riberas, con objeto de mejorar el ecosistema asociado al río y su entorno.
- Objetivo 4: Mejorar la continuidad longitudinal y transversal del río, ampliando la anchura de las riberas y creando un corredor fluvial que mejore los ecosistemas fluviales, que son hábitat de numerosas especies en el entorno, a lo largo de todo el tramo ribereño objeto de proyecto.
- Objetivo 5: Potenciar la relación del río y su patrimonio medioambiental y cultural asociado con la población en general, aprovechando la enorme relación que histórica y culturalmente la población de Cabra ha mantenido con el cauce y ribera de su río, recuperando los elementos del patrimonio natural asociado al río que estén degradados, y ganando espacio para el uso público y la educación ambiental. Para este objetivo se crearán unas zonas recreativas naturales y unos paseos rústicos peatonales integrados en el ecosistema ribereño.

Estos **cinco objetivos** se integran en **dos ideas** fundamentales, la conservación y mejora del ecosistema ribereño, que con la recuperación de su espacio mejoraría las condiciones de vida para las especies de flora y fauna que lo habitan, y la aproximación de la sociedad a los ecosistemas fluviales desde una perspectiva de protección y aprendizaje de la naturaleza.

6.2 Condicionantes para la determinación de la imagen objetivo

Para la determinación de la *Imagen Objetivo del Proyecto*, a partir de la *Condición de Referencia*, se han tenido en cuenta varios condicionantes con objeto de determinar una solución técnica viable desde un punto de vista ecológico, económico y social:

- Condicionantes administrativos.
- Condicionantes ecológicos.
- Condicionantes sociales.
- Condicionantes económicos.
- Condicionantes hidráulicos.
- Criterios paisajísticos.
- Criterios de educación ambiental.
- Condicionantes asociados al patrimonio cultural.
- Infraestructuras existentes.

6.3 Solución adoptada y justificación de la misma

Para la determinación de la imagen objetivo que se quiere alcanzar con el *Proyecto de restauración ambiental e integración urbana y paisajística del tramo alto del río Cabra (T.M. de Cabra, Córdoba)*, se han tenido en cuenta todas las premisas descritas en los puntos anteriores, y se ha optado por la limpieza general de los tramos de actuación, la restauración hidrológica de los tramos en los que se producen los desbordamientos y la estabilización de las laderas y taludes más inestables, la recuperación de terrenos para el río en zonas en que la invasión de su espacio fluvial es manifiesta, la restauración de la vegetación degradada en zonas de ribera en que esta no aparece o está en muy mal estado y la protección de los ecosistemas fluviales en general, la eliminación de elementos que ocasionan impacto o presión sobre el río y la creación de unos espacios fluviales de uso público que integren el corredor fluvial en su entorno urbano, industrial y agrícola, acerquen a la población egabrense al río y expliquen sus características más singulares.

Régimen de caudales

El río Cabra no está regulado por ningún embalse, por lo que las aguas discurren en régimen natural en el tramo objeto de proyecto. El proyecto no actúa sobre el régimen de caudales en la medida en que los tramos fluviales objeto de proyecto discurren en régimen natural, que se mantienen al ejecutarse las obras definidas en el presente proyecto.

Sí se eliminarán una serie de obstáculos (restos de azudes, vegetación muerta, basuras y escombros, obra de paso...) que mejorará la libre circulación de las aguas a lo largo del río.

Morfología a obtener

Para la mejora y restauración de la morfología del cauce de los tramos fluviales y sus riberas se llevan a cabo tres líneas de actuación:

- Limpieza integral de los cauces y sus riberas de la vegetación muerta existente, así como la retirada de los residuos, escombros y basuras que existen a lo largo de los tramos objeto de restauración.
- Tratamientos selvícolas sobre la vegetación de ribera, con objeto de transformar el cañaveral, vegetación degradada, que domina varios de los subtramos incluidos en el tramo de proyecto, eliminación de las especies exóticas existentes, ailantos principalmente, y ocupar esos espacios con vegetación de ribera arbórea estable (plantación de olmos, álamos, fresnos, sauces, tarajes, higueras...).
- Estabilización de las márgenes del cauce y laderas de los barrancos con problemas de erosión y desprendimientos mediante la colocación de escolleras en la parte baja del talud,

plantación de especies arbustivas autóctonas de ribera, la hidrosiembra de pascícolas autóctonas y la instalación de geomallas orgánicas para potenciar el desarrollo de la cubierta vegetal en los taludes más inestables.

Espacio fluvial

La restauración ambiental de los tramos fluviales se completa con la recuperación de espacios perdidos por el dominio del río, sus riberas y zonas de servidumbre, que actualmente son ocupados por terrenos agrícolas, invernaderos, naves comerciales e industriales, viviendas residenciales..., mejorando y ensanchando la ribera y su zona de servidumbre, de forma que el ecosistema ribereño crezca dotando de un hábitat de mayor diversidad para la flora y fauna silvestre.

Para ello se lleva a cabo la recuperación de espacio transversal para la ribera del río y se busca la paralización del proceso de invasión de los terrenos de dominio del río o de su zona de servidumbre. Las medidas a acometer para lograr estos objetivos son las siguientes: Retranqueo de las motas que actualmente estrangulan el cauce, con objeto de ampliar la franja del mismo, dándole mayor libertad para su movimiento transversal.

- Creación de un sendero de ribera en las márgenes del río a lo largo de prácticamente todo el tramo objeto de proyecto. Este sendero tiene dos funciones: la primera es la del acercamiento del río y su ribera a la población en general, que de esta forma tendrá acceso al río en zonas en las que hoy les ha sido usurpado; la segunda es la de acotar el terreno propio del río, frenando el desarrollo de las fuentes de presiones e impactos y otorgando un espacio añadido para la conservación del espacio asociado al ecosistema fluvial.

- Creación de espacios fluviales de uso público, lo que une dos objetivos, la ampliación de la franja de vegetación de ribera, creación de “buffers”, y la adquisición de terrenos por parte de la población en general que en lugar de tener usos industriales o agrícolas son incorporados para uso y disfrute del espacio fluvial y su entorno a la vez que se mejora el ecosistema.

6.4 Definición de actuaciones para alcanzar la imagen objetivo

Las actuaciones para alcanzar los objetivos definidos planteados en el proyecto, cuyo diseño está disponible en el “*Documento II. Planos.*” del proyecto, son las siguientes:

1. Actuaciones de mejora paisajística y estética del entorno. Limpieza del cauce y la ribera del río.
2. Actuaciones de restauración y mejora del medio natural. Tratamientos selvícolas y recuperación de espacio para el río y sus ecosistemas asociados mediante la restauración de la vegetación autóctona de ribera.
3. Actuaciones de recuperación hidrológica. Estabilización de los taludes y restauración de las márgenes del río.
4. Actuaciones de eliminación de infraestructuras que causan presiones e impactos.
5. Actuaciones de interpretación de la naturaleza y acondicionamiento de espacios e infraestructuras de uso público. Ejecución de áreas recreativas integradas en el espacio fluvial.
6. Integración de los elementos ligados al patrimonio cultural del río.

AGRADECIMIENTOS

D. Miguel Ángel Fernández y D. Rafael Poyato (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), D. Javier Carbajal, D. José Luis González, D. Javier García y D. Borja Roca de Togores (Ingeniería Civil Internacional S.A.), D. Fernando Priego (Ayuntamiento de Cabra), D. Juan Carlos Costa (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreira López, A., Brufao Curiel, P., Wolman, A. Guía jurídica para el diseño y realización de proyectos de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente. 2.009.

Costa Pérez, Valle Tendero. Modelos de Restauración Forestal de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Dirección General de Gestión del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla 2004.

González del Tánago, M., García de Jalón, D. Guía metodológica para la elaboración de proyectos de restauración de ríos. Ministerio de Medio Ambiente 2.007.

Julián Fuentes, F., González Burdiel, J.L., Carbajal Tradacete, J., Roca de Togores, B., Poyato Salamanca, R., Fernández , M.A. Proyecto de restauración ambiental e integración urbana y paisajística del tramo alto del río Cabra (T.M. de Cabra, Córdoba). Ingeniería Civil Internacional S.A. bajo la dirección facultativa de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Cabra (Córdoba). 2011.

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN TERRITORIALES COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DIPUTACIÓN DE CÁCERES

David Lagar Timón¹

¹Área de Desarrollo y Turismo Sostenible

Diputación de Cáceres, C/Pintores, 10, Cáceres

dlagar@dip-caceres.es

RESUMEN

La Diputación de Cáceres presta sus servicios de promoción del desarrollo local y el turismo a través del Área de Desarrollo y Turismo Sostenible, que, en su labor de prestar servicio a los municipios de la provincia en materia de planificación territorial, difunde información estadística y cartográfica actualizada acerca de la situación y perspectivas futuras en los diferentes ámbitos que conciernen al desarrollo socioeconómico del territorio. Para ello, participa en un proyecto de Cooperación Transfronteriza denominado OTALEX C junto con las regiones de Alentejo y Centro de Portugal, y la provincia de Badajoz. Del mismo modo, dicha área crea un Observatorio Socioeconómico, que nace con el fin de ofrecer apoyo e información al diagnóstico provincial, y permitir conocer cómo evolucionan las principales actividades socioeconómicas de la provincia. También participa de la Infraestructura de Datos Espaciales corporativa de la Diputación de Cáceres, con información de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales, Red Viaria o el servicio de bomberos.

Palabras Clave: Planificación territorial, Socioeconomía, Cartografía, Provincia de Cáceres.

ABSTRACT

The Council of Caceres serves to promote local development and tourism through the Department of Development and Sustainable Tourism, which, in their efforts to deal with the municipalities of the province's territorial planning, disseminates statistical information and cartographic update on the situation and future prospects in different areas concerning the socio-economic development of the territory. It participates in a project called Cross-Border Cooperation OTALEX C along with the regions of Alentejo and Portugal Center, and the province of Badajoz. Similarly, this area creates a Socio-Economic Observatory, which was created to provide support and information to provincial diagnosis, and allows to know how they evolve the major socio-economic activities of the province. It also participates in Corporate Infrastructure Spatial Data Deputation of Caceres, with information from the Survey of Local Infrastructure and Equipment, Red Road or the fire service.

Key Words: Territorial planning, Socioeconomics, Cartography, Province of Cáceres

1. INTRODUCCIÓN

Desarrollo y conocimiento son conceptos que en las sociedades modernas están intrínsecamente unidos a la convivencia. No se concibe que un territorio o una sociedad sea capaz de desarrollarse (económica, social, política, culturalmente, etc.) sin un cada vez mayor conocimiento del mismo (Morales Caridad *et al.*, 2006). En este contexto, se hace necesario contar con sistemas que permitan almacenar información que permita aumentar el conocimiento y con ello la inteligencia en la toma de decisiones al servicio de la sociedad (Yépez *et al.*, 2007).

La utilización de las nuevas tecnologías de la información geográfica y sus potencialidades de aplicación para la planificación y la gestión territorial a escala local está fuera de cualquier duda, y es posible afirmar que son herramientas casi indispensables para tal fin. Sin embargo, el acceso a las mismas por parte de las administraciones locales de muchos municipios, mancomunidades, grupos de acción local, agencias de empleo y desarrollo local y otras entidades públicas o privadas, que trabajan en estos ámbitos locales, es bastante reducido. Las causas que interviene en esta situación son: la ausencia de personal técnico cualificado en estas tecnologías, los escasos recursos económicos, deficiencias tanto a nivel de software como de hardware, complejidad de manejo de estas tecnologías y desconocimiento casi absoluto de qué son y para qué sirven.

La Diputación de Cáceres presta sus servicios de desarrollo local y territorial a través del Área de Desarrollo y Turismo Sostenible. Lo hace en un contexto provincial, dirigiéndose a las personas y a las empresas en acciones concertadas con los municipios cacereños, sus Mancomunidades y con los Grupos de Acción Local. En este contexto, dicho área, en su labor de difusión de información estadística territorial, genera una serie de herramientas que permiten la extracción de estadísticas actualizada acerca de la situación y perspectivas futuras en los diferentes ámbitos que conciernen al desarrollo socioeconómico del territorio.

Desde el departamento de Análisis Territorial del Área de Desarrollo y Turismo Sostenible se trabaja en la línea de apoyar y orientar los procesos de planificación en el territorio, con especial atención a la planificación del turismo, el empleo y el tejido empresarial. En su labor de diagnóstico del territorio, se realizan estudios del mercado laboral, tanto a nivel provincial, mancomunado o municipal, así como análisis de sectores económicos, tendencias de crecimiento y estudios sectoriales de, por ejemplo, turismo y dependencia. La cantidad de información necesaria para tales fines hace ineludible la creación de herramientas que administren la información territorial y faciliten su uso. El Observatorio Socioeconómico Provincial se crea con ese fin, pretendiendo ser esa herramienta de administración de la información basada en mecanismos de bases de datos y en Sistemas de Información Geográfica.

Por otro lado, la Diputación Provincial de Cáceres no sólo forma parte del partenariado de proyectos concretos (Tajo Internacional, OTALEX, RETALER, etc.), sino también como promotora de estrategias globales de cooperación entre España y Portugal dos países. El planteamiento estratégico del Gobierno Provincial pasa por posibilitar los medios para articular la cooperación desde abajo, cohesionando el territorio en un espacio con identidad propia. En ese sentido, por ejemplo, el proyecto OTALEX C (2011-2015) es el Observatorio Territorial Alentejo Extremadura y Centro de Portugal cofinanciado por el Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal 2007-2013 (POCTEP). A través de este observatorio territorial se ha mantenido una fecunda línea de colaboración interinstitucional y transfronteriza, mediante el intercambio de experiencias, de información geográfica y de metodologías entre ambos lados de la frontera y entre los tres niveles de la administración del territorio: la nacional, la regional y la local.

La Diputación de Cáceres, como beneficiaria del Proyecto OTALEX C, ha aportado conocimientos y experiencias propias, y se han diseñado nuevos indicadores para el proyecto. Fruto de ese trabajo se han mejorado los sistemas de indicadores del Observatorio de OTALEX C relacionados con la socioeconomía y la sostenibilidad, y han surgido materiales bibliográficos y trabajos científicos.

2. ANÁLISIS TERRITORIALES PARA LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA TERRITORIAL

El modelo de desarrollo local, surgido en los años ochenta, se está convirtiendo en la actualidad en una de las estrategias de crecimiento endógeno más importantes, especialmente en el marco de la inserción socio-laboral (Sanchis Palacio, 1999). Más aún a partir de mediados del 2007 con la irrupción de la crisis del sistema financiero global, con especial afectación a la economía española, produciendo la reducción de las tasas de crecimiento y el aumento del desempleo. El desarrollo local es una estrategia que ofrece soluciones a los problemas de la crisis, a partir del aprovechamiento del potencial de desarrollo existente en cada territorio (enfoque territorial de las acciones) y las capacidades de organización de los actores locales (Gómez Orea, 2001), y adquiere toda su fuerza cuando se transforma en un proceso organizado, es decir, planificado, y con capacidad para estimular los factores de desarrollo endógeno (Pillet Capdepón, 2008).

La planificación estratégica territorial se puede definir como el esfuerzo orientado a generar aquellas decisiones y acciones consideradas fundamentales para hacer realidad la visión de futuro deseada por los principales agentes económicos y sociales del territorio (Espejo Marín, 2008). Con ella se pretende dirigir la dinámica de los territorios, favorecer las estrategias de organización territorial mediante la configuración de redes de cooperación, así como fomentar la movilización y participación de los protagonistas (Farinós Dasí *et al.*, 2005). Como se muestra en la Figura 1, el proceso de planificación territorial se inicia con una fase preparatoria en la que los agentes sociales y económicos, actores políticos y administraciones se ponen de acuerdo sobre la definición de aspectos tales como los presupuestos, equipo técnico, plan de trabajo, etc. Es un primer paso es la organización del plan y la identificación de los temas críticos o de los problemas detectados a través del contacto con las personas que actúan en el territorio, y de la sociedad en general.

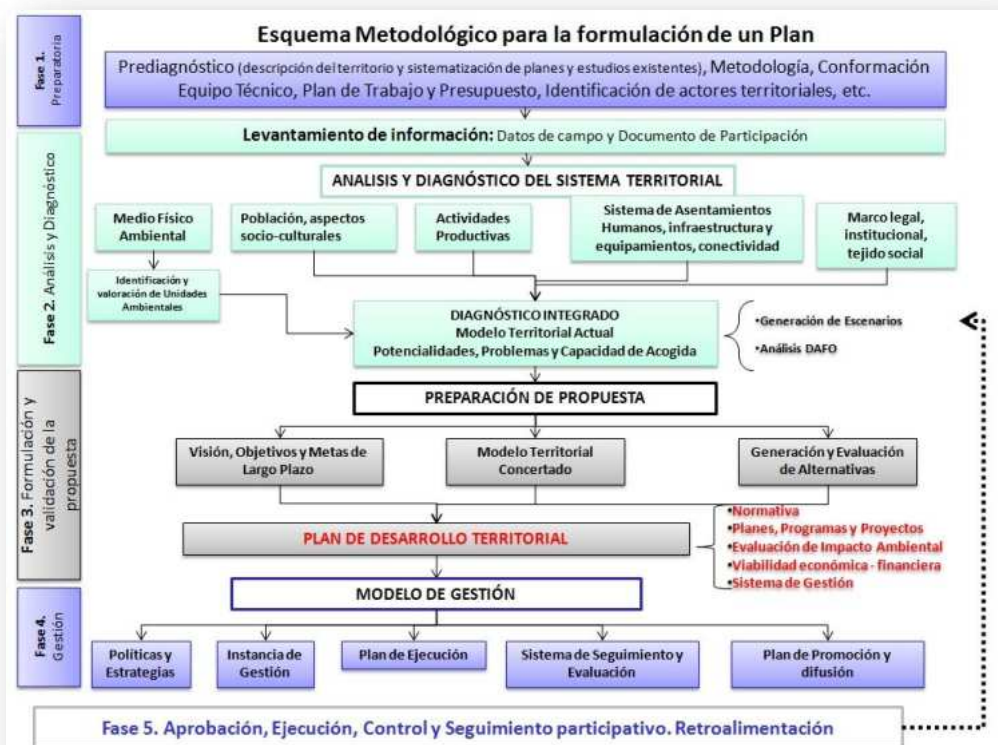


Figura 1. Fases para la elaboración de un plan de desarrollo.

En la siguiente fase se aborda el diagnóstico de la situación territorial, y se define el potencial de desarrollo, y sus ventajas competitivas en un entorno global. El diagnóstico estratégico se define en términos de oportunidades y riesgos que brindan los entornos, y de puntos fuertes y débiles del propio territorio. La elaboración de objetivos estratégicos, y con ello la definición de ejes y objetivos operativos, conduce a definir el modelo deseable de desarrollo territorial y, en consecuencia, al objetivo central. Este objetivo refleja la opción líneas estratégicas. Las líneas traducen las oportunidades a aprovechar, los peligros a contrarrestar, los puntos fuertes a reforzar y las debilidades a disminuir, fruto del diagnóstico antes realizado.

El análisis territorial es un proceso previo a la elaboración de una estrategia de desarrollo, pues permite observar e interpretar las transformaciones que se producen en el territorio (Lagar Timón, 2012). Forma parte de la toma de decisiones sobre las actuaciones que se llevarán a cabo. Para poder desarrollar el análisis de un espacio, independientemente de la escala que se vaya a utilizar, se hace necesario el diagnóstico de ese territorio, que surgirá siempre a partir de la información recabada con anterioridad y de su análisis y tratamiento posterior. En esta fase es cuando entran en liza las técnicas de análisis espacial, que permiten interrelacionar variables estadísticas con un posicionamiento espacial para desenmarañar el complejo sistema territorial. Esa complejidad viene establecida porque el territorio es el espacio donde se establecen las relaciones causales y de intercambio entre los diferentes subsistemas. El territorio tiene una disposición actual causada por el proceso histórico de interacción entre hombres y el medio físico. Así, es necesario analizar las relaciones territoriales de cara a comprender la realidad local.

Las relaciones entre territorios, la existencia de flujos que se sitúan en un ámbito superior y en la economía global, son un aspecto crítico del análisis. El análisis de los entornos permite detectar amenazas y oportunidades a la hora de definir el modelo de desarrollo territorial. El análisis interno diagnostica los recursos disponibles en el territorio, y evalúa su potencial para el desarrollo, así como las debilidades que hay que superar. Sólo con un análisis integral del territorio se consigue contrastar las aspiraciones y deseos con las limitaciones de la realidad. Una buena estrategia es, sobre todo, realista. De este modo, el análisis debe permitir la elaboración de un programa de acción coherente y no una lista de deseos a cumplir. Identificar las acciones que pudieran tener mayor impacto en la calidad de vida de la población local.

La revisión y actualización continua de la información que nutre los diagnósticos es una característica básica de la planificación estratégica, de ahí la importancia de contar con sistemas de automatización de la información o sistemas de información territorial. El proceso formalmente termina cuando se aprueba de forma consensuada el documento final de planificación, en ocasiones pasando por el pleno y en otras, más informal, haciendo público el documento. Sin embargo hay que tener claro que desde el momento justo de la aprobación comienza su revisión. Por tanto, es muy importante destacar el carácter circular de la planificación estratégica, tal y como se refleja en la Figura 2.

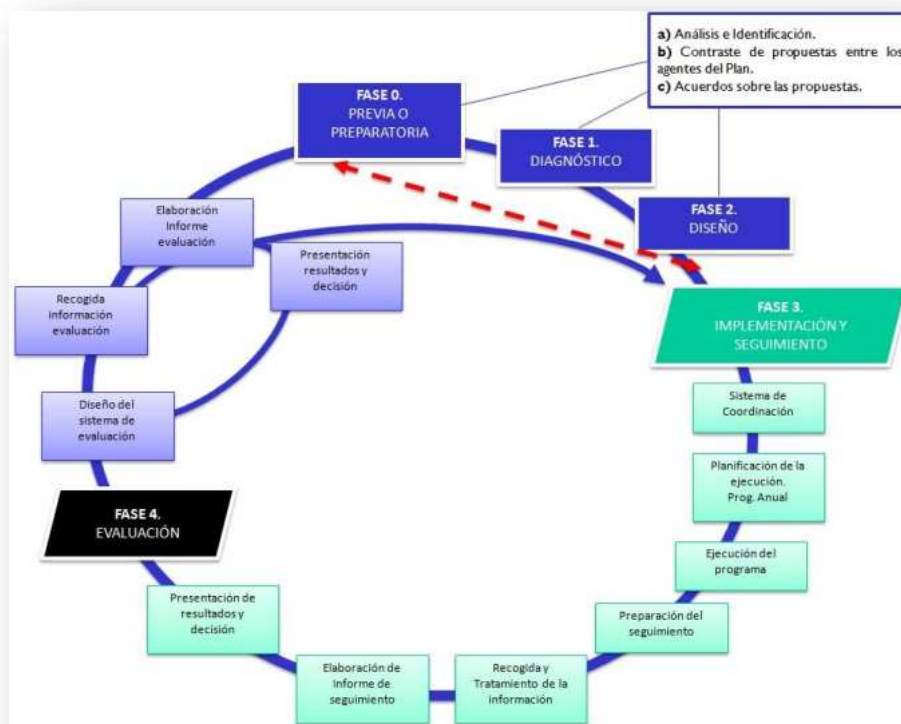


Figura 2. Concepto circular de las fases de la planificación territorial.

3. HERRAMIENTAS VIRTUALES PARA EL DIAGNÓSTICO TERRITORIAL

El progreso de una sociedad se basa en gran medida en su eficiencia para disponer y utilizar con rapidez la información. Esta eficiencia se basa, en el uso de sistemas capaces de suministrar, de manera inmediata, los datos y análisis necesarios para la toma de medidas adecuadas para cada problema planteado. La administración debe asumir la toma de decisiones, y es ahí donde la respuesta, además de ser rápida, debe apoyarse en criterios fundados y servir al interés general de la ciudadanía.

3.1. Observatorio Socioeconómico Provincial

El Observatorio Socioeconómico de Diputación de Cáceres nace por la necesidad de contar con una herramienta generadora de información de una manera continua y ordenada. La cantidad de información integral existente hace ineludible la creación de herramientas que administren la información territorial y faciliten su uso. Se trata, por tanto, de un instrumento de análisis y de diagnóstico de la realidad de la provincia por medio de información territorial integral, entendida ésta como el conjunto de datos, tablas, gráficos y mapas que pueda explicar los fenómenos que se relacionan con la actividad humana en el territorio.

El principal objetivo del Observatorio Socioeconómico es conocer y analizar la situación real y actual en que se encuentran las distintas unidades territoriales de la provincia. De este modo se identifican las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades futuras. Este análisis del territorio sirve como punto de referencia para establecer las líneas estratégicas de un plan de actuación, en función de los factores diagnosticados. Por lo tanto, se trata de una herramienta de trabajo para la actuar en el posterior plan de desarrollo.

El Observatorio Socioeconómico almacena la información de una manera estructurada, así se consigue atomizar toda la información, con el consiguiente aumento de eficiencia, facilidad de acceso a dicha información, así como una mejora en la actualización continua de los datos. En definitiva, se trata de un sistema informático de apoyo a la planificación territorial, que, a través

de un navegador de Internet, permita a cualquier usuario, experto o no, acceder a información abierta y manejar datos y cartografía temática de las distintas variables territoriales. Esta información puede ser consultada por cualquiera de las agrupaciones comarcales definidas en nuestra provincia por las distintas administraciones: Mancomunidades Integrales, Grupos de Acción Local, Áreas de Salud, Comarcas Agrarias, Partidos Judiciales y Centros de Empleo.

La colaboración y firma de acuerdos con las entidades responsables de estos conjuntos de información (SEXPE, INE, Junta de Extremadura, INSS y la propia Diputación de Cáceres) permite al Observatorio Socioeconómico contar con la información actualizada en cada momento, ajustándose la periodicidad con la que se recoge la información a la emisión que hace cada uno de los organismos distribuidores de datos.

3.2. Infraestructura de Datos Espaciales de la Diputación de Cáceres

El término IDE fue concebido en 1993 por el *US National Research Council*, y en Europa no es hasta el 2007 cuando la Directiva INSPIRE consagra a las IDE como el método a utilizar para difundir la información geográfica generada por las administraciones públicas. Por lo tanto, no es hasta la primera década del presente siglo que se generaliza el interés por el uso de las IDE por parte de diferentes administraciones (Maguire & Longley, 2005). Según Capdevila (2004), una IDE es "la capacidad para comunicar, ejecutar programas o transferir datos entre varias unidades funcionales de forma que un usuario necesite pocos conocimientos de las características de estas unidades". El objetivo conceptual de una IDE es la mejora del acceso a y del intercambio de los datos generados por los diferentes productores (Grus *et al.*, 2007).

La IDE de la Diputación Provincial de Cáceres pretende ser una herramienta que integre la información espacial de los diferentes servicios que presta. El objetivo principal es hacer accesible los datos geográficos relacionados con la provincia de Cáceres, así como difundir y poner a disposición de los ciudadanos la gran cantidad de información espacial que se genera en la Diputación Provincial de Cáceres. El portal tiene la siguiente dirección URL: <http://ide.dip-caceres.es/>. A continuación, en la Figura 3, se muestra el aspecto del portal de la IDE de Diputación de Cáceres.



Figura 3. Aspecto del portal de la IDE de Diputación de Cáceres.

4. OTALEX C, UNA COOPERACIÓN ENTRE EL ALENTEJO, EXTREMADURA Y CENTRO

El proyecto OTALEX C (2011-2015) es el Observatorio Territorial Alentejo Extremadura y Centro de Portugal cofinanciado por el Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal 2007-2013 (POCTEP). Es el resultado de varios proyectos de cooperación transfronteriza a lo largo de más de diez años de recorrido entre las regiones de Extremadura y Alentejo. Los objetivos marcados en este proyecto dan continuidad a los trabajos que se desarrollaron en los anteriores proyectos GEOALEX, OTALEX y OTALEX II para el desarrollo integrado de metodologías de gestión territorial y ambiental con vista al desarrollo equilibrado de estos espacios y la implantación de un sistema de análisis y seguimiento de la realidad territorial a ambos lados de la frontera. En definitiva, crear un observatorio territorial Alentejo-Extremadura-Centro de Portugal.

Los objetivos marcados en este proyecto dan continuidad a los trabajos que se desarrollaron en los anteriores proyectos GEOALEX, OTALEX y OTALEX II para el desarrollo integrado de metodologías de gestión territorial y ambiental con vista al desarrollo equilibrado de estos espacios y la implantación de un sistema de análisis y seguimiento de la realidad territorial a ambos lados de la frontera. En definitiva, crear un observatorio territorial Alentejo-Extremadura-Centro Portugal.

A través de este observatorio territorial se ha mantenido una fecunda línea de colaboración interinstitucional y transfronteriza, mediante el intercambio de experiencias, de información geográfica y de metodologías entre ambos lados de la frontera y entre los tres niveles de la administración del territorio: la nacional, la regional y la local. Con este observatorio se busca la monitorización y análisis de las variaciones resultantes de los fenómenos naturales y, esencialmente, de la actividad humana sobre el territorio. Los principios inspiradores de este proyecto se centran en dar una especial relevancia a los valores ambientales y compaginarlo con el deseable desarrollo económico y social. Todo ello con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona (Corbacho Parra *et al.*, 2014).

El Observatorio Territorial Alentejo Extremadura y Centro de Portugal se ofrece al público a través del portal web: www.ideotalex.eu/, que tiene el siguiente aspecto (Figura 4).



Figura 4. Aspecto del portal del Observatorio Territorial Alentejo Extremadura y Centro de Portugal.

5. TRABAJOS CIENTÍFICOS Y ESTUDIOS

La Diputación de Cáceres, a través de su Área de Desarrollo y Turismo Sostenible, participó en los equipos de trabajo técnico del proyecto OTALEX C y, concretamente, en el “Grupo de Indicadores”, donde se elaboraron una serie de productos cartográficos, bibliográficos y científicos, con los que se pretende dar difusión a los avances que se producen en ese ámbito del proyecto. Los productos más destacados en los que la Diputación de Cáceres fue participe y a la vez líder en su consecución fueron un Estudio Socioeconómico de OTALEX C (Corbacho Parra *et al.*, 2014), el Estudio de Indicadores de Sostenibilidad del Área de OTALEX C (Rodríguez Lahuerta & Salas Martín, 2015), y el Estudio de Accesibilidad Viaria del área OTALEX C (Mayoral Muñoz *et al.*, 2015).

El Estudio Socioeconómico de OTALEX C (Figura 5) es el resultado de una labor de colaboración y recopilación de datos realizada por los socios que ejecutan el proyecto OTALEX C, con el fin de contribuir a la difusión y conocimiento del resultado, buscando la integración del territorio transfronterizo a partir del conocimiento que, a pesar de las dificultades, apuesta por el desarrollo conjunto. Los indicadores recogidos y su análisis nos han dibujado un mapa continuo y sin fronteras en algunos casos y realidades muy diversas o difíciles de comparar en otros. Los datos han configurado una base objetiva que ha servido de punto de partida para un análisis más exhaustivo y cercano al territorio a través de herramientas como el análisis DAFO y sesiones de contraste o *Focus Group* con expertos locales.



Figura 5. Portada del Estudio Socioeconómico de OTALEX C.

El Informe de Indicadores de Sostenibilidad (Figura 6), pretende ser una herramienta para ello, aportando los conocimientos y sirviendo de apoyo para dar a conocer tanto las debilidades como las fortalezas de este territorio y facilitar su apuesta por el desarrollo sostenible. Para ello es necesario realizar un diagnóstico de la realidad actual del ámbito en términos de sostenibilidad, a partir del análisis e interpretación de los resultados de los indicadores de sostenibilidad obtenidos en el área OTALEX C. Estos indicadores han sido seleccionados e interpretados a lo largo del presente trabajo, relacionándolos con los valores de referencia obtenidos para los territorios español, portugués y europeo.



Figura 6. Portada del Informe de Indicadores de Sostenibilidad.

Otro producto liderado por la Diputación de Cáceres fue el Estudio de Accesibilidad Viaria del Área de OTALEX-C, cuyo objetivo fue analizar la accesibilidad espacial viaria del ámbito territorial del área OTALEX-C a los equipamientos educativos, sanitarios y núcleos poblacionales. Tanto a nivel de accesibilidad de las regiones que conforman el área territorial de este proyecto, como con respecto al total nacional, teniendo en cuenta las infraestructuras de transporte objeto de estudio. Este estudio permitió diagnosticar el grado de accesibilidad del territorio y valorar posibles actuaciones o proyectos que se puedan llevar a cabo con el fin de mejorar la accesibilidad a los equipamientos en éste área. Para alcanzar ambos objetivos es necesario calcular una serie de indicadores que reflejan la interconexión por diferentes nodos de transporte entre un área y el resto de áreas. Concretamente, estos indicadores fueron:

-Tiempos mínimos de acceso desde el área OTALEX-C a núcleos urbanos de toda la Península mayores de 200.000 hab., 50.000 hab., y 20.000 hab.

-Tiempos mínimos de acceso de núcleos urbanos de OTALEX con respecto a municipios que alberguen algún tipo de servicio educativo, sanitario y/o asistencial.



Figura 7. Portada del Estudio de Accesibilidad Viaria del Área de OTALEX-C.

En el ámbito del “Grupo de Indicadores” del proyecto OTALEX-C también se elaboraron materiales científicos que fueron divulgados en diferentes congresos. Ejemplos de estos trabajos fue el aporte metodológico para calcular el índice de ruralidad para el área de OTALEX C (Batista *et al.*, 2014), con la presentación de un poster en un congreso internacional especializado en la materia (véase la Figura 8).



Figura 8. Póster sobre las novedades metodológicas para el cálculo de un índice de ruralidad en el área de OTALEX C.

En esta línea, también se participó en la elaboración de otro póster en el que se hizo una propuesta para el estudio de la sostenibilidad en el área de OTALEX-C (Carrizo, 2015). Dicho trabajo fue galardonado con el *Best Poster Award at the Geospatial World Fórum* celebrado en Lisboa en 2015 (Figura 9). En esta línea, también se publicaron trabajos que difundían los materiales elaborados en el marco del proyecto OTALEX-C, como se cita en Lagar Timón (2013); Flores Guerrero *et al.* (2013) o en Batista y Ceballos (2013).

Sin lugar a dudas, la apuesta de las administraciones debe ser decidida por una modernización de los sistemas de decisión y planificación, basada en la innovación y el conocimiento. Se ha demostrado que la sociedad del conocimiento genera ventajas competitivas dinámicas, y aumenta la capacidad de desarrollo de los territorios. Así, herramientas tecnológicas como el Observatorio Socioeconómico, la IDE de Diputación de Cáceres o el Observatorio Territorial y Ambiental Alentejo - Extremadura - Centro, pretenden ser herramientas de recopilación, recogida, tratamiento y homogeneización de la información estadística y cartográfica oficial, que sirvan para anticiparse a los cambios que se están produciendo en los ámbitos social y económico. Deben representar un apoyo eficaz a la toma de decisiones, especialmente en los procesos de planificación en los que se integran los procesos de análisis – evaluación – propuestas. En consecuencia, dichas herramientas tecnológicas deben tomar un papel importante en las administraciones públicas, con planteamientos metodológicos innovadores que propicien una gestión eficaz y eficiente de del conocimiento para poder anticiparse a la toma de decisiones.

Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE).

Batista, T. & F. Ceballos. 2013. Caracterización socioeconómica del área OTALEX C. In *OTALEX C: Resultados del Proyecto*, eds. F. Ceballos, M. Puerto, T. Batista & C. Carriço. Mérida, España: DGTOTU. Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo. Junta de Extremadura.

- Batista, T., D. Lagar Timón, C. Carriço, E. Flores Guerrero, N. Roque, J. Cabezas Fernández, L. Fernandez Pozo, P. Mendes & C. Pinto Gomes. 2014. Rurality index new methodological approach to regional development in OTALEX C. In *Session of the Permanent European Conference on the Study of the Rural Landscape*. Gottenburgh.
- Capdevila, J. (2004) Infraestructura de datos espaciales (IDE). Definición y desarrollo actual en España. *Geo Crítica / Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, VIII.
- Carriço, C. 2015. OTALEX C Assess Cross Border Sustainability Indicators. In *Geospatial World Forum*. Lisboa.
- Corbacho Parra, J., R. Blas Morato & J. M. Pérez Pintor. 2014. *OTALEX-C. Estudio Socioeconómico*. Cáceres: Diputación Provincial de Cáceres.
- Espejo Marín, C. 2008. El papel de los instrumentos de planificación en las dinámicas productivas y territoriales. In *Turismo rural y desarrollo local*, ed. F. Cebrián Abellán, 161-170. Eds. Universidad de Sevilla; Universidad de Castilla-La Mancha.
- Farinós Dasí, J., J. Olcina Cantos, A. Rico Amorós, C. Rodríguez Navarro, L. del Romero Renau, E. Espejo Marín & J. F. Vera Rebollo (2005) Planes estratégicos territoriales de carácter supramunicipal. 39, 117-149.
- Flores Guerrero, E. M., C. Carriço, D. Lagar Timón & T. Batista. 2013. Caracterización socioeconómica del área OTALEX C. In *OTALEX C: Resultados del Proyecto*, eds. F. Ceballos, M. Puerto, T. Batista & C. Carriço. Mérida, España: DGTOTU. Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo. Junta de Extremadura.
- Gómez Orea, D. 2001. *Ordenación territorial*. Madrid: Editorial Agrícola Española/Mundi Prensa.
- Grus, L., J. Crompvoets & A. K. Bregt (2007) Multi-view SDI Assessment Framework. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2, 33-53.
- Lagar Timón, D. (2012) Información territorial para la planificación estratégica: observatorio socioeconómico de la provincia de Cáceres. *Mapping*, 153, 77-80.
- Lagar Timón, D. 2013. Accesibilidad a los centros de actividad económica y de servicios en el área de OTALEX C. In *OTALEX C: Resultados del Proyecto*, eds. F. Ceballos, M. Puerto, T. Batista & C. Carriço. Mérida, España: DGTOTU. Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo. Junta de Extremadura.
- Maguire, D. J. & P. A. Longley (2005) The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 3-14.
- Mayoral Muñoz, M., L. de la Cruz Fuentes, J. A. Osuna Pons, L. Rodríguez Lara & P. Mora McGinity. 2015. *Estudio de Accesibilidad Viaria del área OTALEX C*. (No publicado).
- Morales Caridad, J. A., L. Navarrete Otero, J. M. García Mesa & F. Navarrete Mandly. 2006. Modelizando la sociedad sobre el territorio. La realidad socioterritorial de la ciudad de Málaga contemplada desde un Sistema de Información Geográfica. In *IX Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas (Tecnimap 2006)*. Sevilla.
- Pillet Capdepón, F. 2008. *Espacio y ciencia del territorio: proceso y relación globallocal*. Ed. Biblioteca Nueva.
- Rodríguez Lahuerta, C. & R. Salas Martín. 2015. *Estudio de Indicadores de Sostenibilidad del Área de OTALEX C*. (Sin publicar).
- Sanchis Palacio, J. R. (1999) Las estrategias de desarrollo local: Aproximación metodológica desde una perspectiva socio-económica e integral. *Dirección y Organización*, 21, 147-160.
- Yépez, B., J. A. Módenes & J. López Colás (2007) Demografía y gestión local: los observatorios socioeconómicos de la provincia de Barcelona. *Papers de Demografia*.

LOS SIG APLICADOS A LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA EN 1º DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

José María Martín Vecino¹, Ana Nieto Masot² e Isaac Buzo Sánchez³

¹Instituto de Educación Secundaria “Augustóbriga”. Calle Antonio María Concha nº 71. Navalmoral de la Mata, (Cáceres), 10.300. josemariamartin1982@gmail.com

²Departamento de A. y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, Campus Universitario, s/n, 10070, Cáceres. ananieto@unex.es.

³Instituto de Educación Secundaria “San Roque”. Calle de Lino Duarte Insua, s/n, 06009 Badajoz. isaacbuzo@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se analizará la enseñanza de la Geografía en la Educación Secundaria Obligatoria, más concretamente en su primer curso, se detectarán sus posibles debilidades y se realizarán unas propuestas metodológicas de mejora docente en este campo al introducir el uso de los Sistemas de Información Geográfica como nueva herramienta que amplía las perspectivas docentes.

El objeto de estudio se analiza desde una doble dimensión, por una parte se mostrará cómo se trabaja la Geografía en las aulas, detectando las necesidades generales y tratando de huir de las visiones descriptivas y enciclopedistas con la que está marcada esta enseñanza en la Educación Secundaria Obligatoria; y, en segundo lugar, se expondrá una propuesta de trabajo, basada en la utilización de los SIG y concretamente del software ArcGIS Online, planteándose la creación de diferentes Story Map en el que se interrelacionan distintas Web map, actividades y vídeos, relacionados con los contenidos de la Geografía en el primer curso de ESO; y por último, para analizar si la introducción de estas nuevas metodologías han mejorado la calidad docente..

Palabras clave: Geografía, SIG, Neogeografía, Enseñanza, ESO.

ABSTRACT

In this essay we will analyze the teaching of Geography in the Compulsory Secondary Education stage, especially during its first academic year, we will notice possible needs and new methodological proposals for this field will be stated, nowadays, more than ever, the usage of geographical information systems is completely necessary; a proposal focused on Geography teaching will be made, it will be based on the usage of geographical information systems as a didactic resource.

Our study goal is analyzed from a double dimension; on the one hand we will see how Geography is dealt with in the classroom, focusing on general needs, leaving aside descriptive an encyclopedic views used in the classroom so far. On the other hand, we will carry out our proposal based on Geographical Information Systems (GIS), concretely ArcGIS Online. We pose as a work method the creation of a story map in which different web maps, activities and videos are interrelated and devoted to the study of Geography during the first year of Compulsory Secondary Education in order to check out the consecution of the proposed goals.

Key words: Geography, GIS, Neogeography, Teaching and ESO.

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Las sociedad actual se encuentra inmersa en un proceso de enseñanza-aprendizaje complejo y distinto, dentro del contexto de globalización o sociedad en red que destaca el Profesor Manuel Castells (1995). En el caso concreto de la enseñanza de la Geografía se enfrenta a unos alumnos que tienen acceso a Tecnologías de la Información y Comunicación que les permiten ver el mundo de forma ágil e interpretativa, y por ello, no se debería explicar los contenidos geográficos desde sólo una aproximación decimonónica enciclopedista y descriptiva sino incorporar estas nuevas TICs mediante los Sistemas de Información Geográfica (Baena, 2009) como metodologías que van ampliar la adquisición de contenidos por parte del alumnado.

Las concepciones tradicionales donde se estudiaba y comprendía el mundo desde un mapa mural tradicional están claramente superadas, y se deben ampliar con la introducción de la tecnología digital en la docencia y aprovechar la oportunidad de que la mayor parte del alumnado actual dispone de teléfono con GPS y de conocimientos suficientes para conseguir cualquier tipo de mapa y recurso web para el estudio del medio que les rodea, desde una simple búsqueda en Google Earth hasta una imagen de satélite. Es por esto, que se propone un nuevo enfoque metodológico basado precisamente en una concepción innovadora de la enseñanza de la Geografía, apoyada en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica desde etapas educativas iniciales, como la Enseñanza Secundaria Obligatoria, y que se están desarrollando en otros países del ámbito anglosajón como estudian los profesores De Miguel y Donert (2014).

Desde la legislación educativa, tal como recoge la Ley de Educación¹, la Geografía se trabaja desde la materia troncal general denominada Geografía e Historia, concretamente con contenidos específicos en el primer y tercer curso de Educación Secundaria Obligatoria. En la legislación nacional tenemos que guiarnos por el Real Decreto² que regula esta ley, y a nivel regional en el decreto que regula el Currículo para la ESO y el Bachillerato en Extremadura³.

1.1. Detección de necesidades e hipótesis de partida

Como afirma Moreno (2010) en sus trabajos realizados, en la enseñanza de la Geografía en las etapas iniciales no se ha introducido todavía las Tecnologías de la Información y la Comunicación a través de los Sistemas de Información Geográfica ni otros cambios de mayor calado y de metodología cuantitativa que en la disciplina geográfica se están produciendo recientemente. Es por esto, que nuestra propuesta de trabajo tiene como objetivo finalista la incorporación de este nuevo concepto de geoinformación (Buzo, 2015), que debe crecer e incorporarse de forma efectiva a nuestro campo de estudio. Tal y como señala González y Lázaro (2011), se ha globalizado el acceso a la información geográfica en formato digital con la creación de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) a escala local, regional, nacional o europea impulsadas por la iniciativa INSPIRE de la Unión Europea; la aparición de Google Earth o numerosas webs de viajes y rutas entre otros recursos que la población puede consultar y descargar sus datos cartográficos. La oportunidad que se nos presenta es que todos estos datos accesibles podrían ser utilizados y analizados de forma crítica por nuestros alumnos a través de los numerosos dispositivos tecnológicos que tienen a su disposición: portátiles, móviles o tablets, y con el apoyo de softwares de sistemas de información geográfica para su tratamiento y análisis.

Éste es el escenario que Capel (2012) denomina Neogeografía, basado en la nueva conceptualización de la Geografía a través del tratamiento de la geoinformación, tal como

¹ Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. BOE nº 295 de 10 de diciembre de 2013, que modifica la LOE 2/2006 de 3 de mayo, de Educación. BOE nº 106 de 4 de mayo de 2006.

² Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. BOE nº 3 de 3 de enero de 2015.

³ Decreto 98/2016 de 5 de julio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura. DOE nº 129 del 6 de julio de 2016.

hacen otros sistemas educativos diferentes al español en niveles homólogos, utilizándose los SIG en las enseñanzas medias con el objetivo de conseguir una Geografía práctica orientada a desarrollar las competencias claves y fomentando el pensamiento geográfico espacial desde el uso cotidiano en las aulas de estas herramientas.

Analizando y comparando el currículo español con el inglés, alemán, finlandés, francés, italiano y portugués, De Miguel (2014) expone que existe en el mismo “una fuerte presencia de las habilidades y métodos propios del trabajo geográfico, así como de la recogida, tratamiento y expresión de la información geográfica en sus cuatro ámbitos principales: literaria, gráfica, estadística y especialmente cartográfica, que se pueden enseñar al incluir las nuevas tecnologías, los SIG y todas las posibilidades que ofrece la geoinformación”.

Otra realidad patente es que nuestros alumnos en la Enseñanza Secundaria Obligatoria se encuentran con contenidos de Geografía e Historia yuxtapuestos, que son desarrollados según se cumplen las temporalizaciones anuales dentro del Área de Conocimiento que conforman la denominación de Ciencias Sociales y donde no se obligan a desarrollar competencias digitales específicas enfocadas al conocimiento de la cartografía y la utilización de los SIG.

Para evaluar la realidad de las aulas de Educación Secundaria en España y tener una imagen directa de los problemas y necesidades de la Geografía, la Asociación de Geógrafos Españoles planteó una encuesta, con una muestra de 648 representativas de las diecisiete Comunidades Autónomas, (Buzo e Ibarra, 2013) y en las que se detectaron los problemas anteriormente expuestos y se propusieron diversas soluciones, siendo los más representativos:

- El 76,73% del profesorado que completa el cuestionario es favorable al uso de los SIG como recurso didáctico, aunque más del 50% de los encuestados afirman que es complicado introducir estos nuevos recursos, debido a requerimientos técnicos, ya que en las aulas hay obsolescencia en los equipos informáticos, se alude también a la falta de formación del profesorado y al elevado ratio de alumnos por profesor y aula.
- La presencia de la Geografía en ESO y Bachillerato es escasa para un 70% de los encuestados.
- Un 56% de los encuestados propone unificar los contenidos geográficos por asignatura y no desarrollarlos en la asignatura de Ciencias Sociales con contenidos de Historia e Historia del Arte.
- Demandan más aspectos prácticos, cuantitativos y metodológicos, y aquellos en relación a las Tecnologías de la Información Geográfica.
- Determinan que existen una serie de recursos que se deberían potenciar para que los contenidos geográficos sean más accesibles a al alumnado, y posibilitar que las asignaturas sean más atractivas, como son la incorporación de las TIG funcionales (GPS, Globos virtuales), utilizar Bancos de imágenes, Mapas didácticos o SIG didácticos.
- La formación que necesitan y demandan los docentes para poder implementar estas nuevas metodologías didácticas deberían ir encaminadas a introducir unos itinerarios formativos en las titulaciones de Grado (33,1%), Másteres o Posgrado con esa formación específica, etc.

Debido a estas deficiencias detectadas, este trabajo se centrará en aplicar casos prácticos de contenidos, utilizando SIG y TIC, en el primer bloque de contenidos para Primero de ESO de la materia de Geografía e Historia, donde se trabaja el bloque titulado: “El medio físico”. Más concretamente, nos hemos planteado conseguir los siguientes objetivos específicos mediante la utilización de los SIG:

1. Analizar e identificar las formas de representación de nuestro planeta y construir una visión general del medio físico español, europeo y mundial utilizando escalas, datos de coordenadas geográficas y Sistemas de Información Geográficos.
2. Localizar en el mapa las principales unidades y elementos del relieve, así como los grandes ríos. Conocer y describir los grandes conjuntos bioclimáticos que conforman el espacio geográfico mundial y los espacios naturales.
3. Analizar la acción del ser humano sobre el medio ambiente y sus consecuencias. Extraer conclusiones propias y elaborar materiales digitales que presenten los resultados de forma objetiva trabajando la capacidad crítica.

Nos fijamos como hipótesis principal superar el enfoque memorístico y academicista de la enseñanza de la Geografía en estos niveles, y para ello es necesario la utilización de una metodología donde es patente la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, tal y como han demostrado los autores anteriormente citados en sus trabajos⁴, así dotaremos a los alumnos de las herramientas y competencias suficientes y necesarias para la creación del conocimiento geográfico abstracto, partiendo de la base de la observación, análisis y producción de conocimiento que les ayude en su vida personal y profesional (Zappettini, 2008)

No es tarea fácil plantear una hipótesis de partida en la que se pretende resolver un problema en el que están inmersos varios actores: por un lado los alumnos, cada día más diversos y con inquietudes muy distintas; por otro lado, los docentes en general, que deben renovar las metodologías de forma constante para adaptarse a las nuevas necesidades; también, los centros, dotados desde hace más de quince años de múltiples recursos tecnológicos, en muchos casos infrautilizados, por factores como la falta de formación específica; y finalmente las familias que deben mantener una relación cotidiana y continua con el profesorado para llevar a efecto las propuestas metodológicas aplicadas.

En un primer momento, en este trabajo se analizan los recursos para conseguir que los contenidos geográficos sean más accesibles a los alumnos de Secundaria y conseguir que la asignatura sea más atractiva; y en segundo lugar, se analizan qué problemas se encuentran al poner en marcha las metodologías y recursos TIG en un centro de Secundaria (IES Augustóbriga de Navalmoral de la Mata, Cáceres) y se determinan cuáles pueden contribuir en mayor medida a la consecución de nuestros objetivos.

2. OBJETIVOS

2.1. En dirección hacia un nuevo método didáctico

En este trabajo el planteamiento metodológico ha estado centrado en introducir la necesaria renovación didáctica y epistemológica que están ligadas al pensamiento espacial y geográfico, en el primer caso se debe apostar por la interdisciplinariedad, y en el segundo caso, va relacionado con la incorporación de las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica. También se considera la teoría de las inteligencias múltiples de Gardner (García de la Vega, 2010) en su vertiente de la inteligencia espacial para trabajar la habilidad de poder observar el mundo y los objetos desde diferentes perspectivas.

El pensamiento espacial describe la comprensión de los procesos espaciales y sus elementos, así como herramientas y métodos para su representación y razonamiento, y se planteará su conocimiento desde las diferentes actividades donde se utilizan SIG que desarrollan capacidades o habilidades espaciales, tomando como referencia a Comes (1998), que establece tres tipos de habilidades: conceptualización espacial, orientación - medida del espacio y representación gráfica del mismo.

A la concepción anteriormente descrita de pensamiento espacial, se le añade el desarrollo del pensamiento geográfico que considera la dimensión humana (la interacción de la dimensión social, económica, política y cultural), y por ello, se centra en el trabajo del lugar, (territorios y regiones), espacio (modelos de distribución y relaciones entre lugares), y medio natural (interrelación hombre – medio), constituyendo éstos los pilares en la conformación de ambos pensamientos. Como complemento, también se fomentará el aprendizaje activo, por descubrimiento, donde el alumno domina los procedimientos y habilidades de interrogación de las fuentes geográficas, donde se incluyen los SIG como actor principal, sin olvidar el trabajo de campo que concluya en el análisis espacial. No se debe dejar de señalar y como menciona De Miguel et al. (2012), “(...) el pensamiento geográfico resulta el mejor catalizador para la adquisición del pensamiento espacial en una disciplina escolar de amplia tradición (...), abierto a nuevos modos de aprendizaje, como la metodología activa (Marrón 2011), el aprendizaje

⁴ Tomamos como referencia el Atlas Digital Escolar [28/07/2016] presentado en la Conferencia ESRI 2015. En este proyecto participan Javier Velilla (del IES El Portillo de Zaragoza); Carlos Guallart (Colegio Santa María del Pilar, de Zaragoza); Rafael de Miguel (Universidad de Zaragoza), María Luisa de Lázaro (Universidad Complutense de Madrid); e Isaac Buzo (IES San Roque de Badajoz).

significativo (Sebastiá, 2014) o el aprendizaje basado en proyectos de indagación geográfica (Kerski, 2011)”.

Avanzando en estos planteamientos metodológicos, se abordarán procedimientos para secuenciar actividades conducentes a que los alumnos sean capaces de pensar geográficamente (Souto, 1998), así se trabaja la percepción, escala, distancia, distribución, interacción hombre – medio y acción antrópica, así como el tiempo histórico y las relaciones sociales, analizando finalmente los sistemas y estructuras territoriales, tal y como se propone con la creación de Story Maps como metodología de trabajo. Los Story Maps de Esri se crearán con ArcGis online y permiten combinar mapas con texto narrativo (contenidos y actividades), imágenes y elementos multimedia, así facilitan poder aprovechar la versatilidad de los mapas y la geografía para desarrollar contenidos con un gran potencial didáctico.

• También al utilizar como parámetro didáctico el aprendizaje por descubrimiento (Araya, 2013), se establecen unos parámetros de análisis para el pensamiento espacial, que son los siguientes:

- Planteamiento del problema, trabajo de campo y obtención de datos del entorno geográfico.
- Comprender y organizar la información y material.
- Análisis e interpretación de la información geográfica concreta.
- Síntesis y conclusión.

Se pretende que los alumnos aprendan una nueva geografía como disciplina colaborativa (denominada también por Zúñiga, 2015, como Neogeografía), al no ser sólo receptores pasivos del conocimiento sino también productores de nuevo conocimiento geográfico desde el que resolverán problemas espaciales. Con los SIG se puede llevar a cabo esta tarea al utilizar visores como Iberpix, SIGPAC, la oficina virtual del Catastro o Google Earth (Vivancos, 2006), además de la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura para consultar y elaborar nueva cartografía, y todo ello implementado en la plataforma de ArcGis Online como novedad metodológica aplicada a la enseñanza de la Geografía. Es en este entorno de trabajo es donde se desarrolla nuestra propuesta, aprovechando las potencialidades de un recurso online que no necesita más que una cuenta pública para comenzar a trabajar y al que se le pueden añadir información geográfica de otros visores como los anteriormente mencionados (Figura 1).



Figura 1. Crear una cuenta pública. ArcGis online. Fuente: www.arcgis.com

ArcGIS Online⁵ es un sistema SIG web de colaboración on-line que permite usar, crear y compartir mapas, escenas, aplicaciones, capas, análisis y datos. Se pueden utilizar plantillas para

⁵ Adaptación ¿Qué es ArcGIS Online? <https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-ago.htm> [28/07/2016]

diseñar mapas y distintas aplicaciones, todas ellas contenidas en la nube de la firma desarrolladora de este programa cartográfico, la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute). ArcGIS Online forma parte integral del sistema ArcGIS y amplía las prestaciones de otros productos como ArcGIS for Desktop, ArcGIS for Server o ArcGIS Web APIs al permitir con una cuenta gratuita en la red publicar mapas elaborados con softwares SIG como los anteriormente mencionados u otros.

Con ArcGIS Online se pueden explorar datos, crear mapas y compartir historias. Es un software de fácil manejo que permite, al crear una cuenta pública en la siguiente web: <https://www.arcgis.com/home/createaccount.html>, elaborar Web Maps, una aplicación donde se pueden publicar mapas de servicios web (WMS fundamentalmente), editarlos y realizar análisis espaciales, colaborar y compartir esta información al acceder a estos mapas desde distintos dispositivos, además de poder personalizar el sitio web con funcionalidades de diseño. Permite también añadir una galería de mapas base elaboradas por entidades como el Instituto Geográfico Nacional a escala nacional, Google, NASA o la propia empresa ESRI a escala mundial que nos pueden servir de soporte cartográfico donde introducir los mapas que se han elaborado previamente. Es un recurso muy ligero, ya que estas capas web y como se ha mencionado previamente, están alojadas en la nube de ESRI y su escala se ajusta dinámicamente a medida que la demanda aumenta o disminuye. Todas estas características hacen que se haya decidido por las potencialidades de este SIG, para aplicar nuestra metodología de trabajo a la enseñanza de la Geografía en el primer curso de ESO.

3. METODOLOGÍA

3.1.Los SIG y su implementación en Geografía en 1º de Educación Secundaria: una propuesta concreta utilizando ArcGis Online.

Para comenzar el desarrollo de esta metodología didáctica se necesita que el alumnado se familiarice y comience a trabajar con los Sistemas de Información Geográfica, por lo que, en primer lugar se presentan aplicaciones SIG en la web como Google Earth, SIGPAC, Iberpix, o la IDEE de Extremadura, de manera sencilla y utilizando las herramientas fundamentales porque no se debe olvidar que esta propuesta está dirigida a alumnos del primer curso de la ESO (generalmente este alumnado tiene doce años y tendremos que adaptarnos a los distintos ritmos de aprendizaje).

Posteriormente se introducen a los alumnos al entorno de ArcGis online en nuestra aplicación de trabajo, con la ventaja de que este recurso es perfectamente compatible con los ordenadores y pizarras digitales de las que disponen los centros educativos de la región extremeña (SIATIC), por lo que no necesita instalación ni requisitos de funcionamiento especiales previos, que complicarían el funcionamiento de las clases e implicaría perder tiempo en instalar programas⁶.

Como se ha comentado en el apartado anterior, ArcGis online es un software ligero donde los mapas elaborados los almacena en la red y por ello, los recursos que realizan los alumnos en clase pueden ser almacenados directamente en sus cuentas particulares, además de al ser un entorno de trabajo accesible desde cualquier ordenador con acceso a internet, va a permitir combinar el trabajo en clase con el trabajo en casa, guardando y compartiendo los resultados desde su cuenta pública personal, e incluso creando grupos entre alumnos o con otros compañeros de centros educativos, donde poner en común los resultados obtenidos y compartir el conocimiento geográfico creado. Así, podemos poner en valor el trabajo que realizamos y las actividades que vamos creando para nuestras clases, y nuestros resultados son un logro que aprovechará el alumnado de forma colectiva no solo de nuestro centro educativo.

Tal y como se indicaba en el apartado introductorio se elaboraron dos tipos de recursos en este entorno (*Web Map* y *Web Mapping Applications*) para cada una de las unidades presentadas para desarrollar en el bloque de Contenidos de la asignatura de Geografía e Historia del 1º curso

⁶ Como recomendación necesitaremos crear una cuenta pública de ArcGis Online, trabajaremos con el navegador Mozilla Firefox, y es conveniente que el navegador tenga activados y actualizados los complementos Flash

de ESO titulado “El medio físico”. Los *Web Map* contienen un mapa base, un conjunto de capas de datos (muchos de los cuales incluyen ventanas emergentes interactivas con información sobre los datos), una extensión y herramientas de navegación para el desplazamiento panorámico y el zoom (por ejemplo, un mapa que muestren los terremotos que hayan tenido lugar en los últimos 60 días). Las *Web Map Applications* son presentaciones más elaboradas que los *Web Map* donde se introducen fichas descriptivas, imágenes, videos, etc relacionados con alguno de los elementos cartográficos y además permiten diseñar una plantilla con imágenes o descriptores más elaborados de nuestro entorno de trabajo.

A continuación se estableció que todas las unidades seguirían la misma estructura para facilitar su uso entre el alumnado y conseguir nuestros objetivos docentes:

a) **Actividades introductorias.** Por actividades introductorias entendemos todas aquellas destinadas a favorecer el interés de los alumnos, a motivarles, a conocer cuáles son sus conocimientos previos sobre el tema... Pueden utilizarse tanto en estrategias expositivas como indagatorias, aunque son preferibles estas últimas. Su objetivo es claro, se trata de conectar los nuevos conocimientos que vamos a desarrollar en la unidad con los conocimientos e ideas previas que los mismos tienen. A la vez si se acierta en la planificación de estas actividades, las mismas se convierten en un instrumento motivador que puede servir de punto de partida para nuevos conocimientos. Por ejemplo, en la primera unidad diseñada para definir los conceptos generales de movimiento de rotación y traslación se les añadió un video inicial donde aparece la posición de la Tierra en el sistema solar y los planetas contenidos en el mismo.

b) **Actividades que generan nueva información.** Son las relacionadas con el suministro de información. Permiten estrategias muy variadas ligadas esencialmente a métodos expositivos (exposición del profesor, de un alumno o grupo de alumnos respecto a un tema) e indagatorios (conducentes a que nuestros alumnos investiguen y busquen información relativa a los temas propuestos y sobre los mapas que hemos creado). Constituyen la parte central del método y se presta a la utilización de múltiples procedimientos (indagación, investigación, multicausalidad, tratamiento de la información). De igual manera, integra el desarrollo de las distintas competencias claves. El desarrollo fundamental en estas actividades es posibilitar que los alumnos trabajen con los mapas que hemos creado y a la vez, elaboren su propia cartografía con mapas de resultados.

c) **Actividades de síntesis y evaluación.** Constituidas por todas aquellas que persiguen el procesamiento de la información en el alumnado o lo que es lo mismo, las destinadas a confirmar los aprendizajes de los alumnos. Sólo existe aprendizaje en la medida en que los nuevos contenidos amplíen lo que el alumno ya sabía, de ahí su condición de “síntesis. Se comprobará el desarrollo de los contenidos, el grado de consecución de los objetivos y competencias claves con la elaboración de criterios de evaluación concretados en estándares de aprendizaje, descriptores e indicadores establecidos para cada unidad didáctica.

En este trabajo se proponen 10 Unidades Didácticas con una temporalización que organice el trabajo sobre la misma y distribuyéndolo en sesiones de cincuenta y cinco minutos⁷ cada una. Cómo se tienen que adaptar a la diversidad del alumnado, a sus distintos tipos y ritmos de aprendizaje, se emplearán para el desarrollo de las unidades cinco o seis sesiones y así con esta horquilla temporal se ajustará a los distintos tipos de aprendizaje, usando la sexta sesión, cuando sea necesario, para realizar una prueba objetiva y comprobar la adquisición de conocimientos y competencias. Se puede comprobar en la tabla siguiente:

⁷ Para primer curso de ESO se cuentan con tres sesiones semanales de cincuenta y cinco minutos, según establece el Decreto 98/2016 de 5 de julio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura. DOE nº 129 del 6 de julio de 2016.

Título de la Unidad.	Temporalización
Unidad 1. Conceptos generales. El sistema solar. Movimientos de rotación y traslación. Latitud y Longitud.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 2. Coordenadas geográficas y mediciones.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 3. Tectónica de placas, terremotos y volcanes.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 4. Océanos y mares. Ciclo del agua, ciclo de la erosión y glaciario.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 5. El tiempo y el clima. Zonas climáticas y climas del mundo.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 6. Los continentes, el relieve mundial y los ríos.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 7. Relieve y ríos de España.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 8. Climas y climogramas de España.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 9. Fotografía aérea. Crecimiento de una ciudad e impacto de las construcciones hidráulicas en Extremadura.	5 o 6 Sesiones.
Unidad 10. Práctica: creación de inventarios de monumentos o hitos paisajísticos y una ruta turística por la localidad de origen del alumno.	5 o 6 Sesiones.

Tabla 1. Secuenciación de Unidades. Fuente: elaboración propia.

No se debe de olvidar que en estas unidades elaboradas se desarrollan los contenidos curriculares recogidos en el Decreto 98/2016 y conducentes a que los alumnos sean capaces de cumplir los objetivos y alcanzar las competencias claves predefinidas, además estos progresos se evaluarán desde los criterios de evaluación, estándares de aprendizaje y descriptores concretados en cada unidad propuesta y que conforman las actividades de síntesis y evaluación.

4. RESULTADOS

En el siguiente enlace se puede comprobar el desarrollo e implementación de las 10 Unidades Didácticas (Figura 2):

<http://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=1764eb1afe2e4bf8b0eb4c2264ed04c1> (Figura 3).

También se puede consultar con un código Qr (Figura 4).



Figura 2. Unidades que componen la propuesta de trabajo. Fuente: elaboración propia.

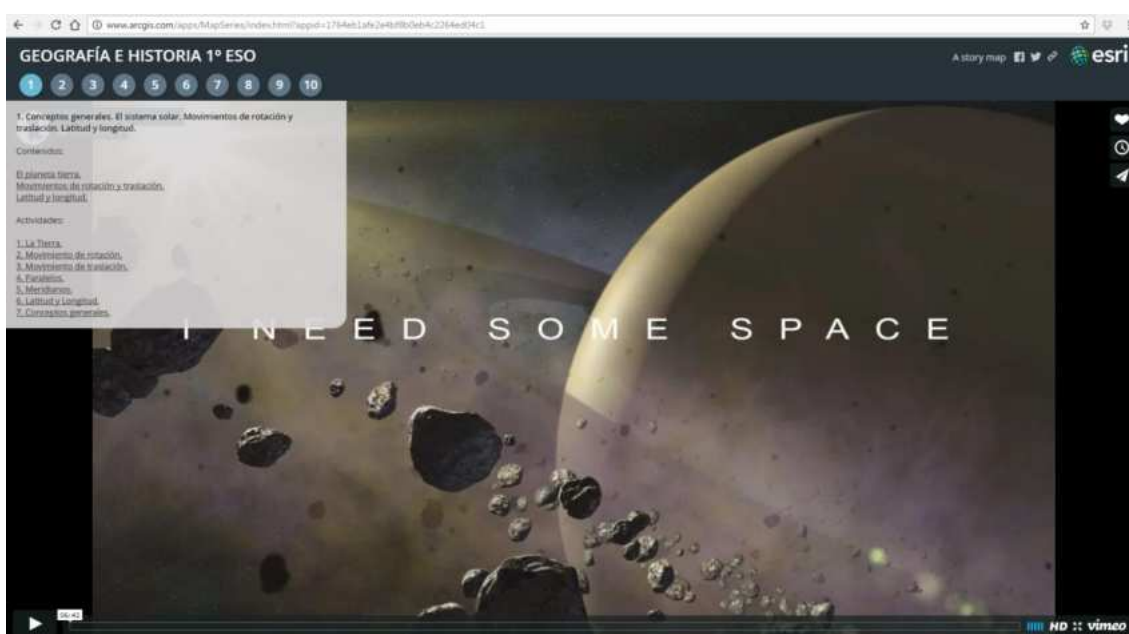


Figura 3. Página de inicio de la aplicación. Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Código Qr de acceso a la aplicación ArcGis. Fuente: elaboración propia

Como resultados de este trabajo a continuación se desarrollan las unidades más representativas de esta propuesta⁸ donde se pueden comprobar la estructura de la aplicación, los materiales añadidos y los objetivos docentes que se pretenden conseguir con la mismas:

⁸ Esta propuesta didáctica no excluye la utilización del libro de texto, sino que lo complementa con los recursos de ArcGis Online y los numerosos mapas y videos añadidos.

Unidad 2. Coordenadas geográficas y mediciones.

En esta unidad se presentan los conceptos con un vídeo⁹, sobre el que se realizan las primeras actividades iniciales y se introducen cuestiones sobre coordenadas geográficas, latitud y longitud en una animación del globo terráqueo y donde van apareciendo y desapareciendo estos conceptos además de otros como Meridianos, Paralelos, Ecuador,... (Figura 5)



Figura 5. Video Introductorio en la Unidad Didáctica 2. Fuente: elaboración propia.

En segundo lugar, para el trabajo práctico del alumno sobre la *Web Mapping Application* diseñada para la unidad, apartado coordenadas y mediciones, se le proponen una serie de actividades específicas que le harán de forma práctica y concreta desarrollar los objetivos propuestos como son: realizar mediciones de longitud entre ciudades, calcular el área y el perímetro de Comunidades Autónomas y Provincias de España, además de ubicarse espacialmente en coordenadas geográficas medidas en el sistema sexagesimal o centesimal. Para ello, se ha incluido un mapa base (en este caso, el mapa topográfico proporcionado por la aplicación ArcGis Online), los servicios WMS del Instituto Geográfico Nacional de las Comunidades Autónomas y las Provincias, y distintas herramientas como medición de distancias y áreas, situar coordenadas, además de instrucciones precisas para realizar las actividades propuestas (Figura 6).

⁹ Video de Igeo.tv donde se introducen conceptos sobre coordenadas geográficas, latitud y longitud: <https://www.youtube.com/watch?v=Oy1b5RZ44CY> [1/09/2016]



Figura 6. Aplicación diseñada para trabajar el cálculo de distancias, áreas y ubicación de coordenadas. Fuente: Elaboración propia.

En último lugar, se plantean una batería de actividades para comprobar los progresos de nuestros alumnos (síntesis y evaluación). Las dos primeras están dedicadas a realizar trabajos en el aula y sobre papel al delimitar la ubicación de puntos cardinales, identificar los elementos de un mapa, leyenda, escala y toponimia y dibujar un plano del aula. Las dos actividades restantes son interactivas, las primeras son responder a una serie de cuestionarios obtenidos de la web Claseshistoria.com donde se le preguntan conceptos como las coordenadas y los husos horarios (Figura 7) y para finalmente poner en práctica lo aprendido localizando las coordenadas geográficas del centro donde estudiamos con el visor cartográfico Iberpix (Figura 8).

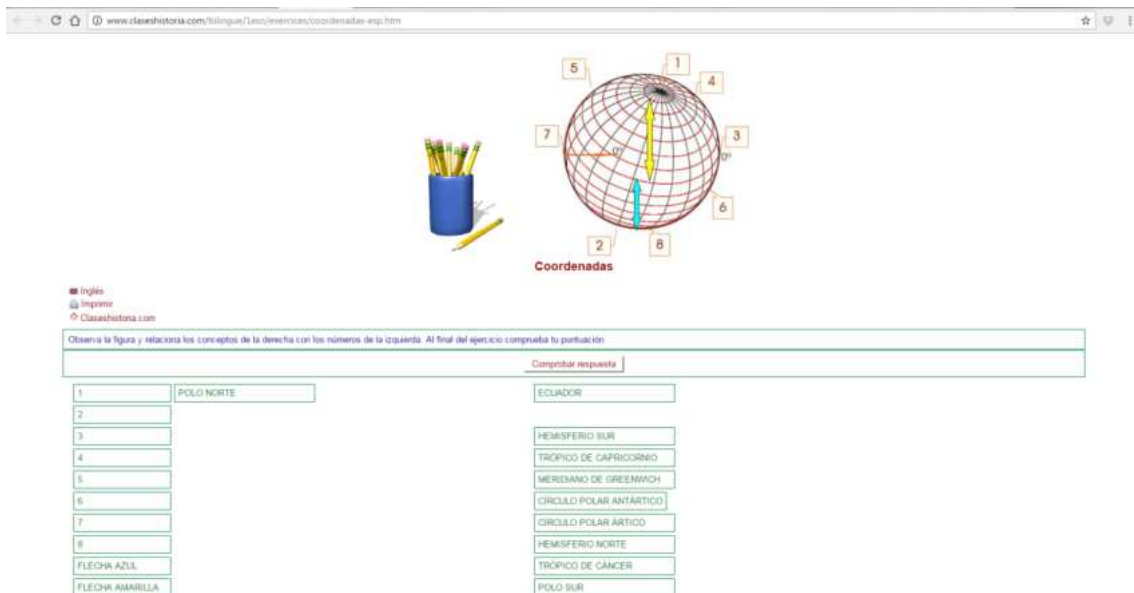


Figura 7. Cuestionario de la Unidad 2. Fuente: Claseshistoria.com

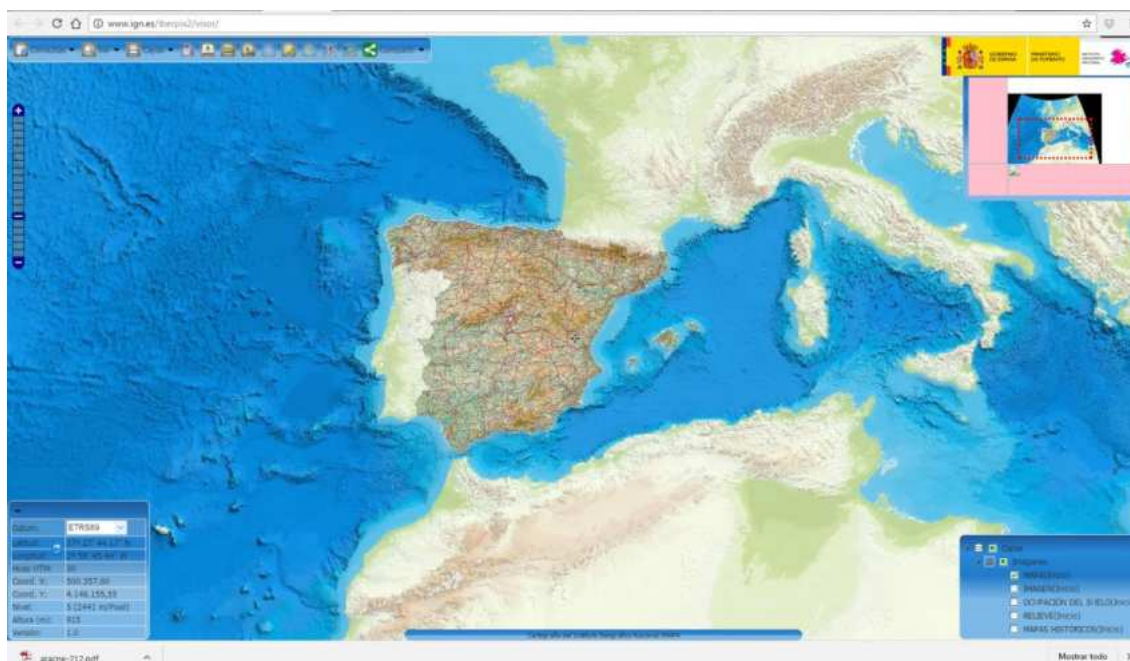


Figura 8: Visor IberPix, para la búsqueda de coordenadas del Centro Educativo.

Al término de esta Unidad el alumno debe ser capaz de alcanzar los siguientes objetivos:

1. Comprender la utilidad de la cartografía.
2. Saber interpretar un mapa, distinguiendo los tipos y los elementos que lo componen.
3. Realizar diversas actividades y trabajos relacionados con los contenidos de la unidad utilizando los SIG, como el empleo de Iberpix para localizar coordenadas geográficas.

Las competencias claves que se han trabajado con esta Unidad han sido la Competencia Digital y la Competencia Matemática por el manejo de herramientas TIC como medir distancias o áreas introducidas en la Web Map Applications y la Competencia de aprender a Aprender, al buscar nuevos lugares como las coordenadas de su centro educativo.

Unidad 5. El tiempo y el clima. Zonas climáticas y climas del mundo.

Esta unidad se ha centrado en los conceptos de Tiempo y Clima. Como actividades introductorias se ha utilizado de recurso la imagen del satélite Meteosat en tiempo real de España¹⁰, donde se pueden observar las dinámicas que intervienen en el tiempo atmosférico (borrascas, anticiclones y frentes) e introducir el concepto tiempo. Y para el concepto de clima y sus factores se ha añadido la información del Monitor Clima Global¹¹ que ofrece múltiple información sobre los diversos condicionantes climáticos globales (Temperatura, humedad, vientos dominantes e insolación) (Figura 9).

¹⁰ Imagen Meteosat en tiempo real en España: <http://www.meteosat.com/> [28/07/2016].

¹¹ Monitor clima global. Universidad de Sevilla. <http://grupo.us.es/climatemonitor/> [8/05/2016]



Figura 9. Aplicación de Global Climate Monitor en el portal web de Geografía e Historia de 1º ESO. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, como actividades que generan nueva información, se ha diseñado una aplicación en ArcGis Online denominada *Zonas climáticas y Climas del Mundo*, donde se trabajan los distintos climas del mundo, y para ello se han añadido dos capas sobre un mapa climático mundial (un servicio WMS). La primera ubicamos el Ecuador, los Trópicos y Polos y el Meridiano 0, y en otra se indican actividades de contraste climático con flechas (Figura 10).

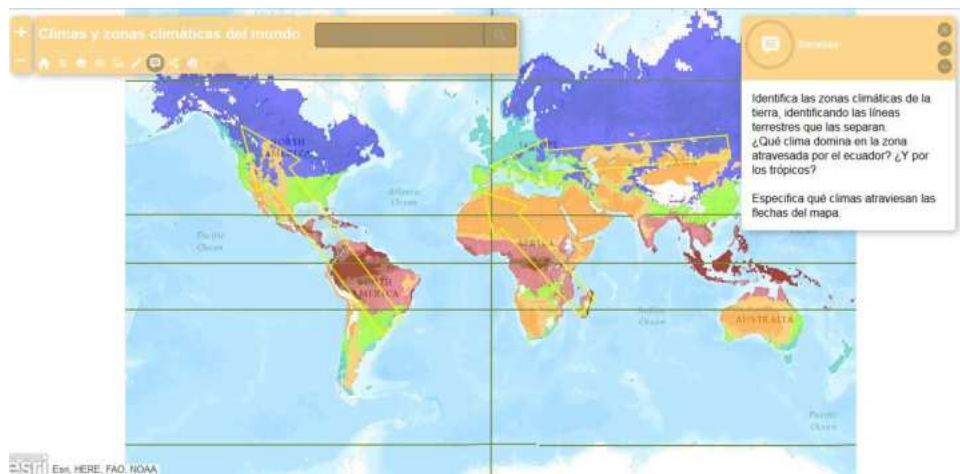


Figura 10. Aplicación diseñada para trabajar los climas del mundo y la ubicación de meridianos, paralelos, ecuador y círculos polares. Fuente: Elaboración propia.

Todos estos contenidos en la web se verán apoyados por actividades expositivas teóricas basada en el libro de texto y descripción de los siguientes contenidos obtenidos de las webs Claseshistoria.com y del Portaleducaplus.org tal y como se puede comprobar en el Story Map que conforma nuestra propuesta de trabajo (Figura 11). Son los apartados de: conceptos generales, la atmósfera, el tiempo, elementos del clima, factores físicos y astronómicos del clima, temperatura y precipitación, factores dinámicos, presión y viento y por último, tipos de clima (Figura 11). Se ha añadido también un video explicativo donde se explica la elaboración de un climograma y las nociones básicas de su interpretación.



Figura 11. Esquemas multimedia de contenidos teóricos de la Unidad 5 tiempo y clima. Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la web claseshistoria.com

Para comprobar el grado de consecución de los objetivos específicos de la unidad propuesta se han añadido actividades de evaluación. Para ello, se han utilizado webs interactivas de respuesta múltiple de los portales anteriormente citados (Figura 12). Y por último, se proponen también pruebas escritas desde donde se comprobará el grado de consecución del aprendizaje del alumnado.



Figura 12. Actividades de Evaluación de la Unidad 5. Elaboración propia.

Los alumnos, al término de la unidad deben alcanzar los siguientes objetivos:

1. Conocer las capas de la atmósfera y sus características.
2. Identificar los elementos atmosféricos y comprender su dinámica.
3. Reconocer cómo influyen los distintos factores climáticos en la configuración de los climas del mundo.
4. Interpretar mapas climáticos y atmosféricos sencillos. Elaborar e interpretar correctamente un climograma.
5. Describir en qué consiste el cambio climático y comprender cuáles son las principales consecuencias para el planeta del mismo.

Las competencias clave que los alumnos han trabajado son, la Competencia Matemática y Competencias Básicas en Ciencia y Tecnología al introducirles entre otras cuestiones, cálculos matemáticos para elaborar los climogramas, Aprender a Aprender al consultar la información de los mapas de ArcGis Online y Competencias Sociales y Cívicas al plantearles las cuestiones que implican en nuestra sociedad el cambio climático.

Unidad 9. Fotografía aérea. Crecimiento de una ciudad e impacto de las construcciones hidráulicas en Extremadura.

En esta unidad se utilizará la potencialidad del contraste de fotografías aéreas para trabajar sobre el crecimiento de las ciudades, los distintos usos del suelo y el impacto de las construcciones hidráulicas en Extremadura. Esta unidad tiene un gran potencial visual que la hace muy atractiva para el alumnado. Se introducen dos conceptos:

1. El Crecimiento Urbano. Mediante el contraste de fotografías aéreas se observa el crecimiento de una ciudad como Cáceres o Navalmoral de la Mata, utilizando la ortofotografía aérea actual del PNOA de máxima actualidad (2012) y la fotografía aérea del vuelo americano (1956).
2. Zonas Inundadas en Extremadura por creación de obras hidráulicas. Utilizando también fotografía aérea de 1956 y ortofotografía actual (2012), se analizará el impacto de embalses como el de Valdecañas o el de Alcántara en espacios anteriormente agrarios y urbanos.

Para ello se han creado varias aplicaciones donde, mediante las plantillas de ArcGis Online, se ha superpuesto con distintas salidas visuales los servicios WMS de la ortofoto de 1956 de la Infraestructura de Datos Espaciales de Extremadura y de la ortofoto de máxima actualidad del Instituto Geográfico Nacional respectivamente, así se logran comparar las zonas de estudio y analizar sus particularidades (figura 13).



Figura 13. De izquierda a derecha: Aplicaciones de contraste fotográfico para estudiar la ocupación del suelo y los efectos del asentamiento humano desde 1956 a la actualidad. Fuente: Elaboración propia.

Como actividad de síntesis y evaluación se plantea realizar un trabajo sobre la identificación y ocupación del suelo en estos municipios específicos y análisis de resultados.

Los objetivos didácticos que se pretenden conseguir con esta Unidad son los siguientes:

1. Conocer los elementos que configuran los paisajes e identificar las principales consecuencias de las relaciones entre el ser humano y el medio.
2. Realizar e interpretar un paisaje natural y comprender el impacto de la actividad humana sobre los mismos.
3. Describir las principales iniciativas para preservar el medioambiente.

Se trabajará para alcanzar las siguientes competencias clave: Competencia Matemática y Competencias Básicas en Ciencia y Tecnología, al realizar cálculos de áreas entre los usos que han cambiado en las distintas imágenes; Competencia digital, por el uso de las TIC con la

aplicación de mapas de ArcGis Online y Aprender a Aprender, al generar nuevas mapas con la localización de las áreas inundadas.

Unidad 10. Creación de inventarios de monumentos o hitos paisajísticos, diseño de una ruta turística en la localidad de origen.

En esta Unidad se propone realizar un trabajo práctico como unidad final y de síntesis de los conocimientos en TIG utilizados en esta metodología didáctica. Para ello, en primer lugar los alumnos editarán una lista de hitos o monumentos a inventariar, (fase de recogida de datos), y utilizan la aplicación Maps de Google. En segundo lugar, se propone una actividad en la que digitalizarán una ruta turística por su localidad de origen utilizando ArcGis Online e introduciendo los principales monumentos y lugares que han editado con Maps de Google incorporando una breve descripción y fotografía del sitio a destacar (resultados de la actividad en la Figura 14).



Figura 14. Edición de Datos y Digitalización de una Ruta Turística con monumentos y lugares en la Unidad 10. Fuente: Elaboración Propia.

Para terminar se propone crear una sencilla app¹¹ que incorpore este mapa y que puede ser utilizado como guía turística, utilizando el generador de APPs gratuito Mobincube, como aparece en la Figura 15, sirva esta que hemos realizado como ejemplo, <http://mobincube.mobi/3V7KTC> (este enlace sólo funciona en dispositivos móviles).

¹¹ Vid. Buzo Sanchez, I. “Elaboración de una aplicación para dispositivos móviles integrando Story Maps de ArcGis Online”, en VIII curso de la AGE de la Enseñanza de la Geografía en Educación Secundaria. Getafe (Madrid). 2015.



Figura 15: Aplicación y código Qr para acceder a la aplicación Mobincube (sólo para dispositivos móviles). Fuente: Elaboración Propia.

Los objetivos que se han planteado conseguir son los siguientes:

1. Localizar en un mapa los principales elementos turísticos a destacar, identificando los principales monumentos e hitos de tu localidad.
2. Describir paisajes naturales del mundo y vincularlos con el contexto local, regional y nacional.
3. Realizar diversas actividades y trabajos relacionados con los contenidos de la unidad utilizando los SIG.

Las competencias que los alumnos han de trabajar en esta unidad son. Competencia Matemática y Competencias Básicas en Ciencia y Tecnología, al crear y medir rutas en Km o m, Competencias Sociales y Cívicas por respetar el patrimonio natural y cultural que están conociendo a la vez que lo crean en una capa digital y Aprender a Aprender, por la generación de nueva información.

DISCUSIÓN

En el desarrollo de las unidades en un estudio de caso, el Instituto de Secundaria de Naval Moral de la Mata, se han detectado las siguientes deficiencias:

- Cuando se trabaja sobre la ubicación de unidades del relieve, climas y ríos en el mundo, los alumnos encuentran muy motivadoras las tareas realizadas en la pizarra digital interactiva, pero el ejercicio o examen para comprobar los aprendizajes no arroja todavía los resultados obtenidos en ejercicios diarios sobre la pizarra digital.
- Los alumnos realizan satisfactoriamente los ejercicios diarios en soporte digital pero todavía es insuficiente para una retención de todos los contenidos, con lo cual el apoyo de

estudio en papel o tradicional sigue siendo indispensable para que alcancen los objetivos didácticos de este bloque temático en las asignatura de Geografía e Historia.

- La propuesta de mejora radica en realizar una actividad donde los alumnos tengan que trabajar sobre mapas mudos de forma manual, con lo que en este caso debe complementarse un método con otro, combinando ambos, tal como hemos planteado en las actividades prácticas de edición de mapas en las unidades 4 y 7, donde los alumnos realizarán sus propias cartografías.

CONCLUSIONES

La metodología en la que se ha basado este trabajo plantea la utilización de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta didáctica para elaborar múltiples aplicaciones que posibiliten que el alumnado logre alcanzar las competencias claves y los objetivos propuestos del bloque denominado “El Medio Físico” de la Asignatura de 1º de Educación Secundaria Obligatoria. Se ha utilizado un software implementado en Internet, ArcGis Online, y completado con servicios WMS u otras capas elaboradas por los autores de este trabajo, con los que se han desarrollado múltiples aplicaciones en una web con 10 Unidades Didácticas en las que se ha estructurado los contenidos de este bloque de aprendizaje. Su aplicación práctica se ha desarrollado en el IES Augustóbriga. Navalmoral de la Mata (Cáceres) y los alumnos implicados al terminar estas unidades han sido capaces de:

1. Analizar e identificar las formas de representación de nuestro planeta y construir una visión general del medio físico español, europeo y mundial utilizando escalas, datos de coordenadas geográficas y Sistemas de Información Geográficos.
2. Localizar en el mapa las principales unidades y elementos del relieve, así como los grandes ríos. Conocer y describir los grandes conjuntos bioclimáticos que conforman el espacio geográfico mundial y los espacios naturales.
3. Analizar la acción del ser humano sobre el medio ambiente y sus consecuencias. Extraer conclusiones propias y elaborar materiales digitales que presenten los resultados de forma objetiva trabajando la capacidad crítica.

Durante el desarrollo de esta propuesta se ha comprobado como en la mayoría de los casos, cuando el interés del alumno es medio – alto, se consiguen los objetivos con más rapidez que con el método tradicional (sin incorporar TIC), consolidándose los conocimientos, y también cabe destacar que con este tipo de metodología y recursos también se llega con más facilidad a alumnos con necesidades educativas especiales, y sobre todo a alumnos con necesidades específicas de apoyo educativo, en los que la relación enseñanza- aprendizaje se hace realmente complicada.

Quedan comprobadas las hipótesis de partida planteadas, ser capaces de presentar y trabajar los contenidos de otro modo gracias a los SIG, pero además se logra superar el enfoque memorístico y academicista, al introducir TIC y un nuevo concepto de “Neogeografía”. También se dota a nuestros alumnos de las herramientas y competencias suficientes y necesarias para la creación del conocimiento geográfico abstracto, partiendo de la base de la observación, análisis y producción de conocimiento que los ayude en el futuro en su vida personal y profesional.

Es una tendencia actual, que desde diversas instituciones como la Universidad, la Asociación de Geógrafos Españoles, y empresas como Esri, se divulgan y se ponen en común estos nuevos métodos y resultados, animando a todos los profesores a participar en la creación e intercambio de actividades y conocimientos. También los Centros de Profesores y Recursos ofertan cada vez más cursos de formación sobre SIG en Educación Secundaria, debido al interés y el potencial que despiertan estos recursos entre los mismos, sumado al atractivo que supone para los alumnos, trabajando así con una metodología más activa, práctica e interdisciplinar. No se trata de abandonar el libro y el trabajo sobre papel, sino de incorporar estos nuevos avances, al añadir los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la labor docente.

En este caso concreto las mayores dificultades encontradas han estado ligadas con el cumplimiento de las temporalizaciones de las 10 unidades didácticas, teniendo que utilizar más

sesiones de las programadas en inicio y seleccionar las actividades a realizar, pero es un proceso de adaptación a la diversidad de ritmos de aprendizaje que se encuentran en las aulas.

Por otra parte, en lo que afecta a la programación curricular para el primer curso de Educación Secundaria Obligatoria, en nuestra materia tenemos diez unidades didácticas de Geografía y cuatro de Historia, con lo que las distintas administraciones competentes deberían plantearse unificar los contenidos de Geografía en un curso, por ejemplo y en consonancia con las propuestas de la Asociación de Geógrafos Españoles, debería dedicarse el primer curso completo para el desarrollo de contenidos geográficos, de este modo no se generarían problemas de programas incompletos y cambios de temática que desorientan seriamente al alumnado, más si cabe si atendemos a la diversidad que hoy en día ocupa nuestras aulas.

BIBLIOGRAFÍA

Araya Palacios, F. (2013): “*Estrategias docentes para el desarrollo de habilidades de pensamiento espacial en República Dominicana y Chile*”. *Revista Geográfica de Valparaíso*, nº 47, pp. 27 – 41.

Baena Jiménez, J. J. (2009): “*Las nuevas funciones del docente ante la sociedad de la información*”. *Innovación y experiencias educativas*, nº 16, pág. 1. http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_16/JUAN%20JESUS_BAENA_1.pdf

Buzo Sanchez, I. (2015): “*Elaboración de una aplicación para dispositivos móviles integrando Story Maps de ArcGis Online*”, en VIII curso de la AGE de la Enseñanza de la Geografía en Educación Secundaria. Getafe (Madrid). <http://www.age-geografia.es/site/viii-curso-sobre-la-ensenanza-de-la-geografia-en-la-educacion-secundaria-actualizacion-curricular-y-aplicacion-didactica-de-las-tic-2/>

Buzo Sánchez, I. (2015): “*La geoinformación como base para proyectos de innovación docente en Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato*”. XXIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, Zaragoza. http://congresoage.unizar.es/eBook/trabajos/137_Buzo%20Sanchez.pdf

Buzo Sanchez, I. Ibarra Benlloch, P. (2013): “*Informe: La posición de la Geografía en la Educación Secundaria y el Bachillerato*”. Asociación de geógrafos Españoles. <http://ciug.gal/PDF/informeage13.pdf>

Capel Sáez, H. (2012): *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea*. Ediciones Serbal. Barcelona.

Castells Oliván, M. (1995): *La ciudad informacional*. Alianza Editorial. Madrid.

Comes Solé, P. (1998). “*El espacio en la didáctica de las Ciencias Sociales*”. En Trepal, C. y Comes, P. *El tiempo y el espacio en la didáctica de las Ciencias Sociales*. Barcelona. Graó. pp. 123 – 190.

De Miguel González, R. (2012): “*¿Podemos aprender de los currícula de Geografía y Ciencias Sociales existentes en otros países europeos?*”. En De Miguel González, R. De Lázaro y Torres, Mª L. Marrón Gaité, Mª J. (Coord). *Innovación en la enseñanza de la geografía ante los desafíos sociales y territoriales*. Actas del Congreso Ibérico de didáctica de la Geografía. Zaragoza. Institución Fernando el Católico, pp. 71 – 103. <http://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/33/36/05demiguel.pdf>

De Miguel González, R. De Lázaro Torres, Mª L. y Marrón Gaité, Mª J. (eds.) (2012): *La educación geográfica digital*. Asociación de Geógrafos Españoles, Grupo de Didáctica de la Geografía (AGE). Universidad de Zaragoza.

De Miguel González, R. Donert, K. (2014): *Innovative Learning geography in Europe: New Challenges for the 21st Century*. Newcastle upon Tyne. Cambridge Scholars Publishing.

García de la Vega, A. (2010): “*Aplicación didáctica del aprendizaje basado en problemas al análisis geográfico*”. Universidad Autónoma de Madrid. *Revista de didácticas específicas*, nº 2. Págs.: 43 – 60.

González, M^a J. Lázaro, M^a L. (2011): “*La geoinformación y su importancia para las tecnologías de la información geográfica*”. *Ar@cne*, nº 148. <http://www.ub.edu/geocrit/aracne/aracne-148.htm> [15/04/2016]

Kerski, J. (2011): “*Sleepwalking into the Future – The case for spatial analysis throughout education*”. En Jekel, T (eds.) *Learning with GI 2011*. Berlin. Wichmann Verlag. http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/537510017.pdf

Marrón Gaité, M^a J. (2011): “*Educación Geográfica y formación del profesorado. Desafíos y perspectivas en el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior*”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* nº 57, pp. 313 – 341. <http://boletin.age-geografia.es/articulos/57/14-EDUCACION.pdf>

Martínez Medina, R. Tonda Monllor, E M^a. (2014): *Nuevas perspectivas conceptuales y metodológicas para la educación Geográfica*. Asociación Geógrafos Españoles.

Sebastiá Alcaraz, R. (2014): “*Ideas previas y aprendizaje significativo en la enseñanza de la Geografía*”. En Martínez, R. y otros: *Nuevas Perspectivas conceptuales y metodológicas para la educación geográfica*. Grupo de Didáctica de la Geografía. Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Córdoba, pp. 15 – 73.

Souto González, X. (1998): *Didáctica de la Geografía. Problemas sociales y conocimiento del medio*. Ediciones Serbal. Barcelona.

Vivancos Martí, J. (2006): “*Earthquest y Geoquest: dos propuestas de actividades geointeractivas*”. *Primeras Jornadas sobre Webquest*. Barcelona. http://www.xtec.cat/~jvivanco/80minuts/earth&geoquest_es.pdf

Zappettini, M^a C. (2008): “*Los Sistemas de Información Geográficos en la enseñanza de la Geografía*”. *Tiempo y Espacio*. Año 18. Vol. 21. Págs. 94 – 112. <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Espacio/2008/06%20Maria%20Cecilia%20Zappettini%20pag%2094%20a%20112.pdf>

Zúñiga Antón, M. (2015): “*Generando opinión ciudadana en la cultura digital a través de los mapas*”. *Polígonos*. Número 27. Págs. 237 – 256. <http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/poligonos/article/view/3282/2452>

COMBINACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS Y TERRESTRES PARA LA PRODUCCIÓN DE UN MDE DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL.

Héctor Ramón Martínez Fernández.

Máster en TIG, Universidad de Extremadura.

Facultad de Filosofía y Letras, Avenida de la Universidad, 10071 (Cáceres).

hmartinej@alumnos.unex.es hmartinez1202@gmail.com

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Máster se plantea la combinación de fotografías aéreas y terrestres para producir un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de alta resolución espacial. El objetivo es comprobar si las fotografías terrestres sirven para complementar y mejorar el modelo obtenido con fotografías aéreas. Para ello, se ha realizado un vuelo con un Vehículo Aéreo no-Tripulado (conocido como UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle) y se han tratado las fotografías con software de foto-reconstrucción Structure from Motion (SfM) para obtener una nube de puntos. También se ha empleado este software con las fotografías terrestres. Se han obtenido dos modelos distintos de nubes de puntos, uno con cada procedimiento, y después se han unido para obtener un modelo combinado. Estos tres modelos se han comparado con un cuarto modelo obtenido a partir de escáner láser terrestre (TLS), que utilizamos como referencia para evaluar su calidad. El resultado de combinar los modelos de foto aérea y terrestre es que se obtiene un modelo de mayor calidad, donde las imágenes terrestres aportan información de las superficies que quedaban ocultas desde la perspectiva vertical del UAV, manteniéndose la precisión del mismo.

Palabras Clave: SfM, fotogrametría terrestre, MDE, nube de puntos, UAV.

ABSTRACT

In this Master Degree Dissertation the combination of aerial and terrestrial images to produce a spatial high resolution Digital Elevation Model (DEM) is suggested. The purpose is to ensure the suitability of terrestrial images to complement and improve the DEM produced by means of aerial images. We have performed an aerial survey with an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and processed the images with the Structure from Motion (SfM) photo-reconstruction software, to obtain a point cloud. The same technique has been applied to the terrestrial image dataset. We obtained a point cloud model from each photo set, and also merged them to produce a combined model. The three models were compared with a benchmark point cloud model obtained with a Terrestrial Laser Scanner. Combining the aerial and terrestrial pictures resulted in a model with higher quality avoiding hidden areas and keeping the geometrical accuracy.

Key Words: SfM, terrestrial photogrammetry, DEM, point cloud, UAV.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se demandan Modelos Digitales de Elevación (MDE) en diferentes campos de las Ciencias de la Tierra. Estos modelos se utilizan para representar la topografía terrestre y estudiar diferentes fenómenos, especialmente aquellos relacionados con las formas del relieve y los procesos que dan lugar a ellas. A menudo se emplean MDE para monitorizar los cambios en la superficie y para cuantificar procesos (volúmenes desplazados, velocidades de avance o retroceso, etc). Otras veces se emplean modelos digitales del terreno derivados, como pueden ser los modelos digitales de orientación o de pendiente, cuya calidad depende de la del MDE del que se obtuvieron. Por esta razón, es importante que la calidad del MDE se ajuste a las necesidades del estudio para el que se esté utilizando. Estas necesidades varían normalmente en función de la escala y extensión del área de trabajo. Este trabajo se centra en los MDE utilizados para estudios de detalle, cubriendo unas pocas decenas de ha. Por ello, se considera importante alcanzar una alta resolución espacial y una georreferenciación muy precisa.

En los últimos años han proliferado diferentes técnicas para capturar datos topográficos y producir MDE de alta resolución. Algunos ejemplos son el LIDAR aerotransportado, el TLS, los sistemas de GPS RTK (Real time kinematic), los vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicles: UAV), etc. La producción de MDE también se ha facilitado mediante la creciente disposición de software “Structure from Motion” (SfM). Este software que permite procesar imágenes de forma más sencilla que en la fotogrametría tradicional (Mike R. James & Robson, 2014), y obtener productos como nubes de puntos, MDE y ortofotografías.

El empleo de fotogrametría SfM se ha beneficiado del desarrollo de los UAV, por su capacidad para sobrevolar el área de estudio a diferentes alturas tomando un gran número de imágenes tanto verticales como oblicuas, en un tiempo reducido. Esto hace de los UAV una herramienta útil, ya que el número y orientación de las imágenes son importantes en este tipo de procedimientos. Cuando se utilizan sólo imágenes verticales, con una orientación paralela se tiende a producir una deformación en la geometría del bloque obtenido. Este efecto se conoce como “doming” o efecto tipo domo y puede corregirse o minimizarse combinando imágenes oblicuas con las verticales (Mike R. James & Robson, 2014).

Otros autores han utilizado bloques de imágenes tomadas desde tierra para la foto-reconstrucción del terreno, y han comparado los resultados con los obtenidos utilizando solo imágenes aéreas. Es el caso de Smith y Vericat (2015), que también usaron un TLS para validar los resultados. Una de sus conclusiones es que es preferible el uso de imágenes aéreas al de imágenes sólo terrestres cuando se quiere representar un área mayor de 100 m².

Un problema frecuente en la foto-reconstrucción del terreno es la falta de visibilidad u ocultamiento. Cuando se trabaja sobre superficies muy irregulares o con vegetación, hay partes de la superficie que pueden quedar ocultas o sombreadas. Como consecuencia, se producen imprecisiones al reconstruir esas zonas. Se trata de un problema que también ocurre cuando se utiliza LIDAR aerotransportado. Fonstad et al. (2013) indican que al tomar imágenes desde diferentes perspectivas se puede incrementar la densidad de la nube de puntos resultante. También sugiere que combinando imágenes aéreas y terrestres se puede obtener una representación más precisa de la topografía, reducir distorsiones y permitir mayor nivel de detalle. Gómez-Gutiérrez et al. (2014) informan de problemas al tratar imágenes de áreas bajo cubierta arbórea, que se deben a que en dichos lugares la iluminación es escasa y variable. Este autor recomienda la combinación de imágenes aéreas y terrestres para minimizar las imprecisiones en la foto-reconstrucción de formas de relieve complejas, como las cárcavas.

Los estudios mencionados constituyen la mayor parte de las publicaciones en las que se habla del uso simultáneo de imágenes aéreas y terrestres en la foto-reconstrucción del terreno. Se trata de un procedimiento sobre el que todavía se ha investigado poco, ya que normalmente se utilizan o bien sólo imágenes aéreas o bien sólo terrestres.

En este trabajo se propone la combinación de imágenes aéreas y terrestres para producir un MDE de alta resolución de un tramo de cauce. Por lo tanto, el principal objetivo es comprobar si realmente pueden obtenerse mejores resultados combinando ambos grupos de fotografías que utilizándolos por separado.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (ver Figura 1) se encuentra en el municipio de Deleitosa, al este de la provincia de Cáceres. Se trata de una superficie de unas 36 ha, correspondiente a la cárcava de Buitrera. El área de estudio queda comprendida dentro de una finca privada. La ortofotografía procedente del UAV y su correspondiente MDS cubrirán toda esta área, pero los modelos obtenidos por combinación, foto terrestre y TLS se limitarán a una parte del área de estudio.

La elevación tiene valores entre 617 y 548 m, con un promedio aproximado de 580 m. Las partes más elevadas se sitúan al este. El área de estudio está recorrida por una red de drenaje que discurre en sentido NO-SE. Esta red la forman dos cauces que confluyen aproximadamente en el centro. Los puntos de menor elevación se encuentran al suroeste, coincidiendo con la salida de la cuenca. Los cauces de la red de drenaje son arroyos poco o nada erosionados, y también cárcavas. Por estos cauces corren flujos discontinuos. Las pendientes son poco pronunciadas, en torno al 10%, y puede apreciarse cierta concavidad entorno al canal de desagüe. También se aprecia la forma convexa de la superficie en el este, en una loma que separa los dos cauces que confluyen.

El paisaje es el propio de penillanura cacereña, con un ecosistema de dehesa. La precipitación media anual es de 646 mm y la temperatura media es de 16°C. Su encuadre geomorfológico es una gran superficie de erosión dentro del Macizo Hespérico. En las laderas se encuentran muestras de erosión, tales como raíces de las encinas al descubierto (Rubio-Delgado, Schnabel, Gómez-Gutiérrez, & Berenguer, 2014). En la vegetación distinguimos un estrato arbóreo formado por encinas (*Quercus ilex*) dispersas, cuya densidad es de 30-40 pies/ha. Esta densidad ha variado muy poco en los últimos 50 años y es homogénea en todo el área de estudio. El estrato herbáceo está compuesto por varias especies terófitas. El sustrato se compone principalmente de pizarras y grauvacas del Precámbrico. Los suelos son poco profundos (unos 20 cm), aunque su espesor es variable, ya que se encuentran afloramientos de pizarra en varios puntos. Su estructura consiste en un horizonte Ah de 3 cm y un horizonte Bw con poco desarrollo. La textura es franco-arenosa y el pH es bajo. También tienen un bajo contenido en arcillas y materia orgánica.

El uso del suelo en la finca es sobre todo ganadero, y en menor medida forestal debido a la poda de las encinas. Desde los años 1950 ha descendido la superficie cultivada, pasando de cerca del 100% al 2%. En cambio ha aumentado la actividad ganadera triplicando el número de cabezas de ganado en los últimos 70 años (1840 cabezas en 2012 según Rubio-Delgado et al (2014)). El ganado es principalmente ovino. El cultivo en el área de estudio se abandonó en los años 1960, pasando desde entonces a tener un uso ganadero. El área de detalle donde compararemos los distintos modelos es un rectángulo de 25 m * 50 m y corresponde al canal de una cárcava cubierto parcialmente por vegetación arbórea.

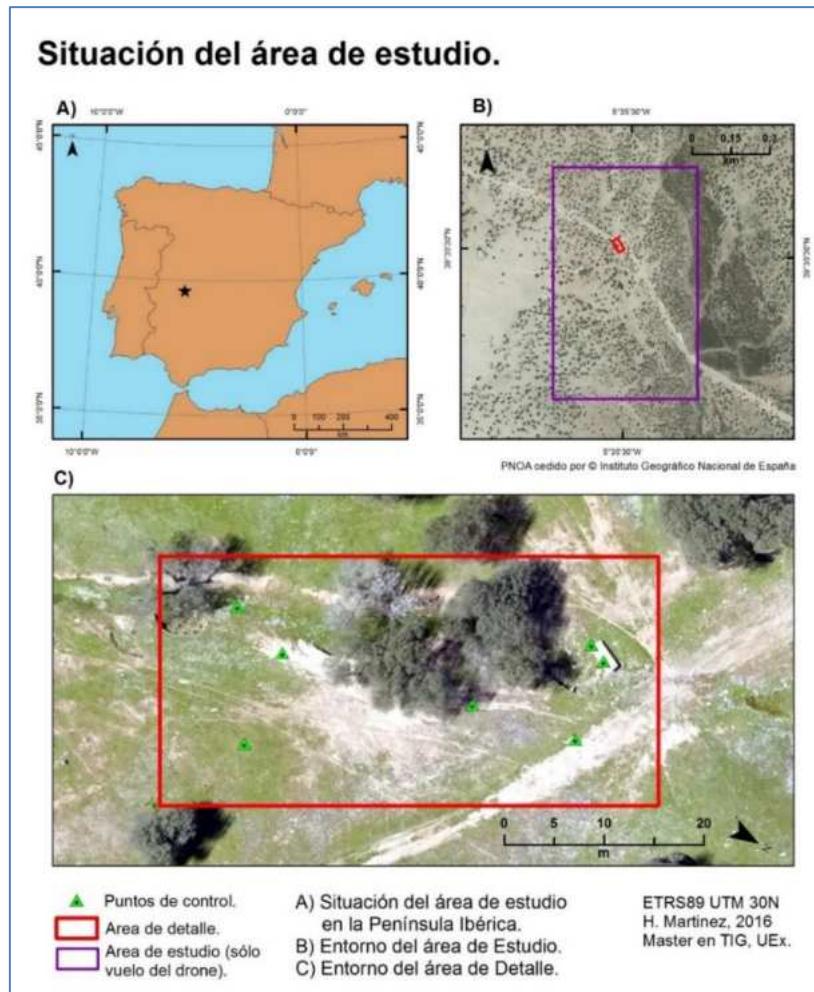


Figura 1. Situación del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo vamos a construir cuatro MDE mediante diferentes métodos. Tres de ellos serán construidos a partir de imágenes tomadas con cámaras fotográficas, mediante fotogrametría SfM y el cuarto modelo se construirá con los datos tomados mediante un TLS. De los tres modelos de foto-reconstrucción, uno se hará exclusivamente con fotografías aéreas, otro sólo con fotografías terrestres y otro combinando las fotografías aéreas con las terrestres. El modelo obtenido con TLS se utilizará como referencia para evaluar la precisión y calidad del resto.

Trabajaremos con nubes de puntos, en las que se representa la vegetación arbórea. Esto no afecta a la obtención del MDE, ya que como se explicará más adelante, se seleccionarán sólo los puntos de cota mínima en un entorno de dimensiones controladas. Sin embargo, se han filtrado las nubes de puntos eliminando la vegetación para hacer más manejables los archivos y reducir el tiempo de procesado. Algunos autores han investigado sobre cómo producir MDE a partir de MDS mediante algoritmos implementados en Python. A. Westh y K. Schidt (2014) describen un método para eliminar elementos tales como árboles y edificios de forma automática. Sin embargo, dado que nuestra área de detalle tiene poca superficie, esa eliminación se realizó de forma manual.

Structure from Motion y Multi-View Stereo

La técnica de Structure from Motion sirve para reconstruir superficies en 3D a partir de una serie de imágenes en 2D, de forma automática y en un sistema de coordenadas arbitrario (Eltner et al., 2015). Dicha técnica se basa en algoritmos de visión artificial. Se ha denominado

fotogrametría automatizada o foto-reconstrucción y se pueden determinar también las coordenadas en tres dimensiones de los objetos representados en las imágenes. Fue descrita por S. Ullman (1979), e inicialmente se aplicó para representar edificios y pequeños objetos de manera rápida y barata. La tecnología SfM es un método de restitución de superficies basado en las recientes técnicas de comparación de imágenes (Fonstad et al., 2013). La fotogrametría SfM se ha empezado a utilizar en las Ciencias de la Tierra para modelizar la superficie terrestre y estudiar distintos procesos que tienen lugar sobre ella. Esta técnica nos permite obtener productos tales como MDE, con alto grado de automatización, a partir de bloques de imágenes.

El proceso tiene similitudes y diferencias respecto a los métodos de fotogrametría convencional. A continuación se comentan algunos. Al igual que en fotogrametría convencional, la reconstrucción del terreno se hace a partir de imágenes superpuestas tomadas desde distintos puntos de vista, es decir, se reconstruye una estructura a partir de un sensor en movimiento (Micheletti, Chandler, & Lane, 2015). En cambio, no necesita un conocimiento previo de puntos de control, sino que estos pueden emplearse a posteriori para georreferenciar el producto obtenido. Según Fonstad et al. (2013), SfM es en esencia un procedimiento automatizado de correspondencia de imágenes, que genera una superficie en un sistema de coordenadas relativas, que a continuación se transforma a un sistema de coordenadas concreto mediante siete parámetros de transformación (tres factores de traslación, tres de rotación y un factor de escala). Esto supone otra diferencia con la fotogrametría convencional, ya que no es necesario especificar a priori la posición ni orientación de la cámara, sino que se obtienen con un procedimiento iterativo conocido como “bundle adjustment” (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012).

Las ecuaciones de colinealidad describen la relación entre un objeto tridimensional y su proyección en una imagen bidimensional. En el flujo de trabajo de SfM, las ecuaciones de colinealidad siempre se resuelven antes de introducir las coordenadas reales del sistema en que se trabaje. Esto se puede hacer debido al gran número de puntos comunes identificados, y dichas ecuaciones se resuelven en un sistema de coordenadas arbitrario (Fonstad et al., 2013). Por este motivo, para algunos trabajos, puede resultar necesario sólo llevar a cabo un escalado del modelo resultante con el fin de poder realizar mediciones en términos de magnitud conocida sobre él.

Uno de los avances que supone el uso de SfM es la capacidad de reconocer elementos comunes en distintas imágenes a pesar de grandes cambios en la escala. Es una gran diferencia respecto a los métodos de correlación cruzada que se utilizan en fotogrametría digital, que son más sensibles a los cambios de escala y de resolución (Fonstad et al., 2013). Esto es posible gracias a algoritmos como SIFT, que se basan en el brillo y el gradiente de color para identificar puntos comunes en distintas imágenes. La fotogrametría SfM puede producir nubes de puntos de calidad comparable a la de productos de LIDAR aerotransportado y de fotogrametría convencional, pero con la ventaja de la facilidad de uso y de la reducción de costes. En algunos casos la densidad de las nubes de puntos obtenidas mediante SfM es bastante mayor a la obtenida con LIDAR aerotransportado (Fonstad et al., 2013; O'Neill-Dunne, J., 2015).

El último paso en un proceso de foto-reconstrucción SfM es aplicar algoritmos de Multi-View Stereo o densificación, para obtener una nube de puntos más densa. El incremento en la densidad de la nube normalmente es de al menos dos órdenes de magnitud (M. W. Smith, Carrivick, & Quincey, 2015). Según este autor, un método comúnmente empleado en aplicaciones de Geografía Física es “Patch-based MVS”. MVS es un término general que engloba el grupo de técnicas que utilizan estéreo-correspondencia como método principal para la reconstrucción 3D y trabajan con más de dos imágenes (Furukawa & Hernández, 2015). Estos autores dan la siguiente definición para reconstrucción 3D basada en imágenes: “*dado un conjunto de fotografías de un objeto o una escena, estimar la forma en 3D más probable que explica esas imágenes, asumiendo unos materiales, puntos de vista y condiciones de iluminación*”. También especifican que la calidad de la reconstrucción depende de la calidad de las imágenes de entrada y de los parámetros de la cámara, entre otros factores. Existen muchos algoritmos distintos, pero en líneas generales el proceso es el siguiente (Furukawa & Hernández, 2015): 1º Recopilar imágenes, 2º Computar los parámetros de la cámara para cada

imagen, 3º Reconstruir la geometría 3D de la escena a partir del conjunto de imágenes y de los parámetros de la cámara, 4º Opcionalmente reconstruir las texturas de la escena.

Modelo con fotografías aéreas

Para la toma de fotografías aéreas se ha utilizado un UAV de ala fija equipado con una cámara digital de alta resolución. El aparato corresponde al modelo Ebee, producido por la compañía SenseFly. En la Figura 2 (SenseFly, 2015) puede verse un esquema de las partes principales. El aparato está compuesto por un cuerpo principal con dos alas desmontables, contruados espuma expandida EPP, sobre el que se montan los demás componentes. La envergadura es de 96 cm y el peso cuando está completamente montado es de unos 700 g.

El Ebee tiene una autonomía de vuelo de 50 minutos, en los que puede cubrir como máximo un área de 12 Km² (para un GSD de 30 cm, según el fabricante). Está alimentado por una batería de litio de 3 celdas. La propulsión del UAV se lleva a cabo mediante una hélice movida por un motor eléctrico, y la velocidad de vuelo puede estar entre 40 y 90 km/h. Está equipado con dos dispositivos de comunicación: Un módem y un control remoto. El alcance es de 3 km y 1 km respectivamente, y la frecuencia en ambos es de 2,4 GHz.

En la parte superior del cuerpo principal están los accesos al compartimento de la batería y al de la cámara. También está la antena de comunicación y un tubo de pitot con el que se controla la velocidad del viento que afecta al aparato y la presión atmosférica. En la parte inferior está la abertura para la lente de la cámara. La otra abertura de la parte inferior es para un sensor óptico que detecta la proximidad del suelo.

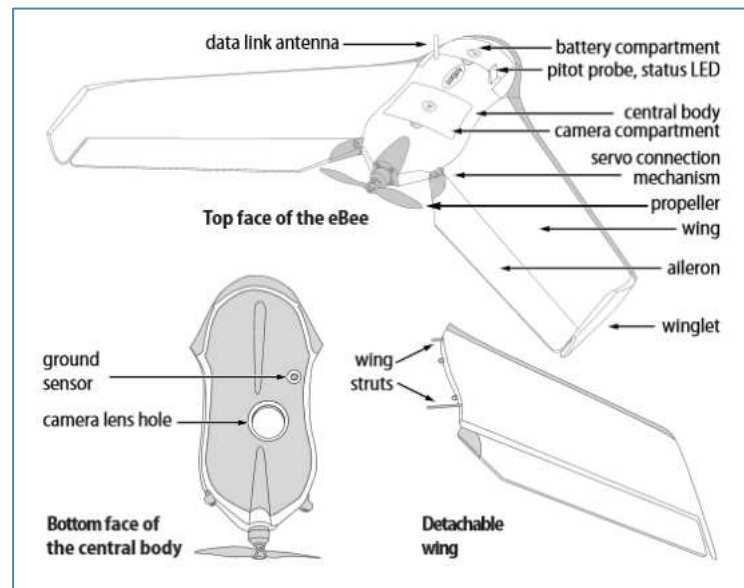


Figura 2. Esquema de las partes principales del Ebee drone.

Tabla1. Características de la cámara SONY DSC-WX220.

SONY DSC-WX220			
Distancia focal	4 mm	Píxeles efectivos	18,2 MP
Tiempo de exposición	1/640 s	Dimensiones	92,3x52,4x
Velocidad ISO	ISO 100	Peso (con batería)	121 g
Imagen	JPEG	Duración de la batería	210 fotos

Para la toma de fotografías aérea se ha utilizado una cámara SONY DSC-WX220. Sus características se muestran en la Tabla 1. El Ebee va equipado con sensores inerciales para conocer los ángulos de orientación de la cámara en cada fotografía, y con un receptor GPS para conocer sus coordenadas. Este receptor presenta errores en los valores absolutos de geolocalización muy superiores a los tamaños de píxel que el equipo puede obtener por lo que

tan sólo sirven para una georreferenciación inicial y grosera del bloque, siendo necesarios puntos de control adquiridos mediante DGPS para una georreferenciación precisa. Para obtener el MDE con fotos aéreas, el procedimiento que hemos llevado a cabo se divide en tres pasos: primero la planificación del vuelo, segundo la toma de datos en campo y tercero, procesado de las fotografías mediante software.

La planificación del vuelo se ha hecho utilizando el programa “eMotion 2”. Durante este proceso hay que seleccionar una serie de parámetros del vuelo en función de los objetivos que tenga nuestro proyecto. En este caso se ha programado el vuelo para cubrir el área de estudio haciendo una serie de pasadas paralelas. La altura de vuelo se fijó en 50 m, de forma que la cámara estuviese lo bastante cerca del suelo como para conseguir un GSD de entre 1 y 3 cm, y lo bastante lejos para asegurarnos de que el UAV no encontraba ningún obstáculo.

GSD son las siglas de *Ground Sample Distance*, y se refiere a la distancia entre los centros de dos píxeles contiguos medida sobre el suelo. Cuanto menor sea el tamaño de GSD mayor será la resolución espacial de una imagen, y se podrán reconocer más detalles. Está relacionado directamente con la altura de vuelo y la resolución del sensor: a mayor altura, mayor GSD. Incluso con una altura de vuelo constante, el GSD puede variar ligeramente, debido a las variaciones de elevación del terreno. El software de foto-reconstrucción utilizará un valor promedio para crear el ortomosaico (Pix4D, 2015).

La distancia entre fotos y el número de pasadas las calcula el programa en función del solape lateral y longitudinal que establezcamos. En este caso, se ha seleccionado 60% de solape lateral y 75% de solape longitudinal. También estos parámetros también pueden introducirse manualmente.

Cuando se planifica el vuelo también se seleccionan las áreas de aterrizaje y despegue. Hay que buscar un área despejada para evitar que el UAV choque con cualquier obstáculo. Este trabajo se realiza en campo, porque estos factores, así como la dirección del viento sólo se pueden valorar in situ.

Para la toma de datos en campo, es necesario fijar una serie de puntos de control (en adelante GCP, *Ground Control Points*). Estos puntos se utilizarán durante el procesado de las imágenes, para que el MDE resultante esté georreferenciado de forma precisa. En este caso hemos utilizado diez GCP. Se marcaron en el terreno mediante estacas y se midieron utilizando DGPS. La precisión del instrumento es 1 – 3 cm. El número y distribución de los GCP afectan a la precisión del MDE resultante. Según Smith et al. (2015), estos deben distribuirse de forma homogénea por el área de estudio. Eltner (2015) también señala la importancia de utilizar GCP precisos y bien distribuidos. En el manual de Pix4D (Pix4D, 2015) se indica que más de 10 GCP no contribuyen significativamente a aumentar la precisión de la georreferenciación, coincidiendo esta afirmación con los hallazgos de Smith y Vericat (2015). Otra opción podría haber sido tomar los GCP después de realizar el vuelo, e identificarlos sobre el MDE cuando estuviese hecho, con el mismo procedimiento que describen Fonstad et al. (2013). Sin embargo, hemos preferido señalarlos antes de realizar el vuelo, para poder introducir los valores en el software a la vez que las imágenes y obtener los productos en una sola operación.

Para poder identificarlos mejor en las fotografías, se señalan con unas cruces de papel fluorescente. Una vez ubicados y señalados los puntos de control se procede al vuelo del aparato. El programa eMotion 2 permite monitorizar el vuelo, viendo en todo momento la velocidad del aparato, altura, posición, nivel de batería, etc. Finalmente, se lleva a cabo una gestión de los vuelos ya realizados, de modo que se pueden descargar las imágenes y la ruta seguida por el UAV para finalmente fusionar dichos archivos, lo que permite añadir la localización a los fotogramas. Durante este proceso se añaden los denominados Geotags a los fotogramas, de forma que cada fotograma presenta una georreferenciación grosera inicial.

El tercer paso del procedimiento es el procesado de las imágenes. Para ello vamos a utilizar Pix4D Mapper (PostFlightTerra 3D). Éste es un programa de fotogrametría SfM con el que se pueden obtener distintos productos cartográficos a partir de imágenes, ya sean tomadas desde tierra o desde aire. En el área de estudio se realizaron 5 vuelos consecutivos y se introdujeron las fotos de todos los vuelos en el mismo proyecto de PostFlightTerra 3D. Este procedimiento asegura diferentes perspectivas de la zona de estudio y permite eliminar fotografías de poca calidad debido a las pequeñas inestabilidades que puede sufrir el equipo por causa del viento.

Tengamos en cuenta que con un recubrimiento del 60% una fotografía “movida” podría dar al traste con la precisión de una zona dentro del modelo. Para ello, cargamos las imágenes y los puntos de control, y seleccionamos el sistema de referencia. También marcamos los GCP en las imágenes y después las procesamos. PostFlightTerra 3D es una versión de Pix4D Mapper que se comercializa con el Ebee drone. Por defecto, la cámara está calibrada según los parámetros de la cámara que incorpora el Ebee. El programa produce una nube de puntos, un Modelo Digital de Superficie (MDS) y una ortofotografía del área cubierta. Aunque el vuelo haya cubierto 36 ha, sólo utilizaremos la zona de los productos obtenidos que corresponda al área de detalle.

Modelo con fotografías terrestres

Para tomar las fotografías terrestres se ha utilizado una cámara digital Canon, cuyas características se muestran a continuación en la Tabla 2. Para el modelo basado en fotogrametría terrestre, se tomaron en campo 325 fotografías. Es importante cambiar de posición para tomar cada foto (desplazarse unos pasos), para que el proceso de foto-reconstrucción funcione bien. Para este modelo se utilizan algunos GCP comunes para el vuelo del UAV, tomados con DGPS. También se añaden más puntos de control en el área de detalle. En total se utilizan dieciséis GCP, de los que siete están en el área de detalle (ver Figura 1 y Figura 9). Una vez que disponemos de las fotografías, el proceso se compone de varios pasos: Obtener la nube de puntos, filtrarla, georreferenciarla y generar el MDE en formato ráster.

Para obtener la nube de puntos a partir de las fotografías se ha utilizado el software Agisoft Photoscan. Éste es un programa de fotogrametría SFM, que permite obtener productos como nubes de puntos, MDE y MDS y ortofotografías. Se utiliza en general para producir modelos 3D y para medir áreas y volúmenes. Se trata de un software muy similar en su uso, concepción y funcionamiento a Pix4D, siendo la principal diferencia que este último está especialmente enfocado a la obtención de modelos con fotogramas aéreos capturados por UAV.

El proceso de filtrado se lleva a cabo con el software CloudCompare. Primero se carga la nube de puntos y se seleccionan a mano los puntos que queremos eliminar. Eliminamos aquellos puntos correspondientes a los árboles y arbustos, y aquellos que se deben a errores de la foto-reconstrucción, como por ejemplo planos duplicados. El objetivo es quedarnos con un conjunto de puntos que correspondan al suelo.

Tabla 2. Características de la cámara Canon EOS 550D.

Canon EOS 550D			
Distancia focal	18 mm	Píxeles efectivos	18 MP
Tiempo de exposición	1/125 s	Dimensiones	128,8 x 97,3 x 62
Velocidad ISO	ISO 100	Peso (sin batería)	530 g
Imagen	JPEG	Duración de la batería	440 fotos

Modelo combinado

El software de foto-reconstrucción permite trabajar con ambos tipos de perspectiva a la vez (vertical y horizontal). No obstante se recomienda realizar varias fotografías de transición entre la perspectiva vertical y la horizontal, para facilitar el proceso de identificación de puntos comunes (Küng, 2015).

Para producir un modelo combinado lo que hacemos es unir las nubes de puntos procedentes de las fotos aéreas y de las fotos terrestres en una sola nube. Para ello es necesario georreferenciar ambas nubes utilizando los puntos de control. El software Cloudcompare permite combinar varias nubes de puntos en una sola. De esta manera podemos complementar los “huecos” de la nube procedente del UAV con los puntos de la nube hecha con fotos terrestres.

Modelo con TLS

El modelo con TLS se utilizará como referencia para comparar los otros modelos. Esta metodología se ha empleado previamente en investigaciones relacionadas con la representación

del terreno (Gómez-Gutiérrez, de Sanjosé-Blasco, de Matías-Bejarano, & Berenguer-Sempere, 2014; Gómez-Gutiérrez, de Sanjosé-Blasco, Lozano-Parra, Berenguer-Sempere, & de Matías-Bejarano, 2015; Gómez-Gutiérrez, Schnabel, et al., 2014; Lague, Brodu, & Leroux, 2013; Mark William Smith & Vericat, 2015). El TLS es un instrumento que sirve para tomar datos de una superficie utilizando un sistema de medición láser, y con el que se obtiene una nube de puntos, que resulta de la interacción entre el láser y la superficie medida. Su utilización es cada vez más frecuente en estudios relacionados con las Ciencias de la Tierra, y también en otros campos como la Ingeniería Civil e Industrial, o la Arquitectura.

El TLS se basa en la tecnología LIDAR (Light detection and ranging). Es una herramienta que se utiliza desde el terreno, similar al radar o al sonar. Emite un haz de luz y registra las ondas de la luz reflejada por el objetivo. El aparato emite pulsos cortos de luz que cuando son reflejados los capta un sensor. La distancia se calcula multiplicando la mitad del tiempo entre la emisión y la recepción por la velocidad de la luz. Este registro de las ondas de luz reflejadas puede convertirse en puntos con coordenadas X, Y, Z que se pueden georreferenciar con ayuda de un DGPS. De este modo se pueden obtener nubes de puntos tridimensionales de alta precisión (Shawn Carr, Bruce Douglas, & Christopher Crosby, 2014). Los instrumentos de escaneo láser pueden ser estáticos o dinámicos. Los dinámicos suelen ir montados sobre aviones o sobre UAV. En este trabajo emplearemos un modelo estático. El aparato va montado sobre un trípode y el alcance puede ser de hasta un kilómetro. La precisión de las medidas es milimétrica. Estos instrumentos se basan en la línea visión, y por ello es necesario hacer varias capturas desde distintos puntos, de manera que haya una cobertura completa del terreno que queremos estudiar para minimizar los ocultamientos.

Para tomar los datos en el área de estudio se utilizó un escáner modelo Leica ScanStation C10. Para la toma de datos en campo, se estacionó el escáner en 11 posiciones distintas, para poder tomar los datos desde todas las orientaciones (ver Figuras 3 y 4). De esta manera se tratan de evitar los ocultamientos provocados por las irregularidades del relieve y la vegetación. Esto es especialmente importante en nuestro lugar de estudio, ya que encontramos árboles voluminosos que bloquean la línea de visión del aparato. En la Figura 4 se muestra el efecto que tienen los obstáculos en la línea de visión en la toma de datos con TLS.

Una vez tenemos los datos, se descargan en un ordenador y se procesan con un editor de nubes de puntos. Se ha utilizado CloudCompare, y se han fusionado en una sola nube de puntos las nubes de los diferentes estacionamientos. De esta manera se obtiene una nube con los puntos procedentes de todas las perspectivas, donde se minimizan los ocultamientos. El inconveniente es que la nube resultante tiene una densidad de puntos muy elevada, y el tamaño del archivo es muy grande (varios GB). Por ello se han filtrado los puntos correspondientes a la vegetación y después se ha tomado una muestra del 10% de los puntos, con la que trabajaremos. De esta manera se agiliza el manejo del archivo. La densidad de puntos del modelo de TLS sigue siendo elevada pese a quedarnos sólo con un 10 % de los puntos (la densidad es cuarenta veces superior a la de la nube de foto aérea, ver Tabla 4). Por eso la utilizaremos para el cálculo de las distancias.

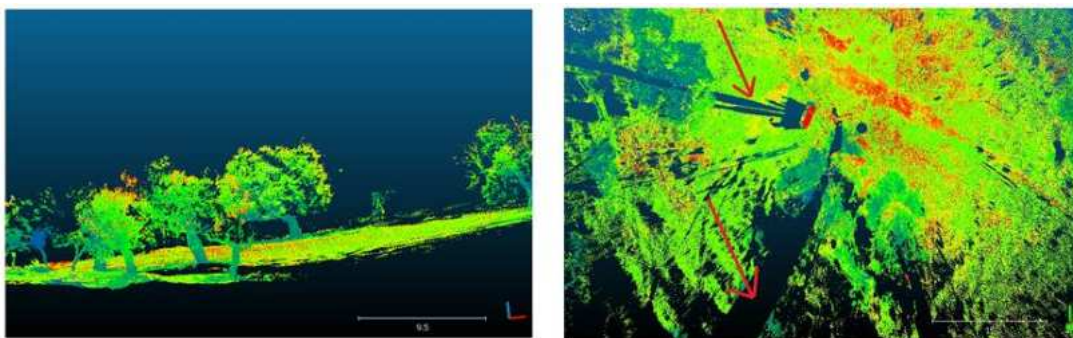


Figura 3 (Izquierda) Nube de puntos procedente de un estacionamiento de TLS. Se ha coloreado mediante valores de intensidad. **Figura 4.** (Derecha) Vista cenital de la nube de puntos de la figura anterior. Se señalan con flechas rojas las áreas que han quedado fuera de la línea de vista del aparato.

También es posible utilizar una clasificación de la nube de puntos utilizando el algoritmo CANUPO (Brodu & Lague, 2012). Esta herramienta resulta de utilidad para clasificar de forma automática los puntos de la nube. Para ello es necesario definir campos de entrenamiento, que el software utilizará para identificar a que clase pertenecen los conjuntos de puntos.

Parámetros para la estimación de la calidad de los modelos

Para evaluar la calidad de la georreferenciación de los productos obtenidos, utilizaremos el error medio cuadrático. Este parámetro, conocido como RMSE (del inglés *Root Mean Square Error*) expresa la raíz de la media de los cuadrados de las desviaciones en una medida. Estas desviaciones son la diferencia entre el valor obtenido en la medida y el valor esperado. Si no elevásemos al cuadrado las desviaciones, obtendríamos siempre un error medio muy cercano a cero, ya que se compensarían las desviaciones positivas con las negativas, siempre en términos de ausencia de sistematismos. Pero eso no nos serviría para evaluar la precisión de la georreferenciación.

En nuestro caso la desviación o error es la distancia entre los puntos de control y sus puntos correspondientes en el MDE o el la nube de puntos. El error cuadrático medio se expresa en las mismas unidades que los datos de entrada. Por lo tanto para nuestros modelos se expresará en metros. Cuanto menor sea el valor del RMSE, más precisa será la georreferenciación de los productos obtenidos. Esta es la fórmula utilizada para calcular el RMSE, donde e es el valor de cada desviación:

$$RMS\ Error = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{n}}$$

El software empleado para la foto-reconstrucción nos da un valor de RMSE, que corresponde a la variación entre dónde están los puntos en realidad y dónde deberían estar según la foto-reconstrucción. Interpretamos el RMSE como un parámetro que indica la calidad estructural global del modelo, pero para conocer la calidad en profundidad y su distribución espacial utilizamos los parámetros C2C y M2C2.

C2C es la abreviatura de Cloud-to-Cloud (Girardeau-Montaut, Roux, Marc, & Thibault, 2005). Este parámetro se utiliza para expresar la distancia entre dos nubes de puntos, y se aplica una vez que éstas están georreferenciadas. Aporta unas medidas precisas de la distancia entre dos nubes de puntos superpuestas. La metodología que vamos a emplear ya ha sido aplicada previamente para comparar nubes de puntos obtenidas mediante foto-reconstrucción (Gómez-Gutiérrez et al., 2015). Una desventaja del método C2C es que su algoritmo resulta sensible a los valores extremos (outliers) y a la comparación de nubes con diferentes densidades (Lague et al., 2013), ya que se basa en la distancia entre puntos.

Compararemos las nubes de puntos obtenidas mediante SfM con la nube de puntos obtenida mediante TLS, la cual tomaremos como referencia. Una nube de puntos será más precisa cuanto menor sea la distancia a la de referencia. Utilizaremos el programa CloudCompare para realizar esta tarea. En la Figura 14 podemos ver una representación de la distancia entre dos nubes de puntos obtenida mediante C2C.

Por defecto, el programa calcula la distancia entre cada punto de la nube de referencia y el punto más próximo de la nube comparada. Esta no sería la distancia real entre las dos superficies, sino que es sólo una aproximación. Normalmente la distancia será ligeramente mayor que si comparásemos dos superficies. Sin embargo el resultado puede ser bastante preciso cuando las nubes de puntos utilizadas tienen una densidad alta. Si no se dispone de una nube de alta densidad, el programa puede aplicar otro procedimiento para calcular la distancia. Lo que hace en este caso es primero identificar el punto más cercano de la nube a comparar, y después modelar una superficie utilizando los puntos vecinos de la otra nube. Entonces mide la distancia a esa superficie modelada en lugar de la distancia al punto más cercano. Esta idea se muestra en la Figura 5.

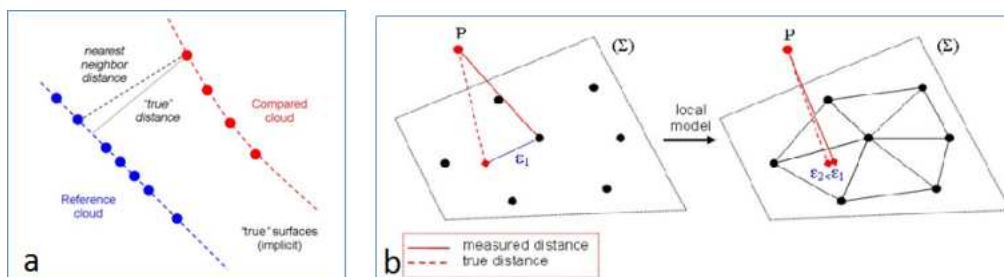


Figura 5. a) Esquema de la distancia entre dos nubes de puntos. La distancia “real” y la distancia al vecino más próximo no coinciden. b) Aquí se muestra cómo Cloud Compare modela una superficie utilizando los puntos que rodean al punto más cercano. Fuente: («Distances Computation - CloudCompareWiki», s. f.)

M3C2 (Multiscale Model to Model Cloud Comparison) es otro método para evaluar la calidad de una nube de puntos. Es un método parecido al C2C, y puede utilizarse mediante un plug-in instalado en CloudCompare. Fue desarrollado por Lague et al. (2013). El método de comparación M3C2 cumple tres características: (i) Opera directamente sobre las nubes de puntos sin necesidad de hacer una malla. (ii) Computa la distancia local entre dos nubes de puntos, en dirección normal a la superficie, lo que detecta variaciones en la orientación. (iii) Estima para cada medida un intervalo de confianza dependiendo del detalle de la nube de puntos (Lague et al., 2013).

El método M3C2 está diseñado especialmente para aplicarse en lugares de topografía compleja y accidentada y permite detectar cambios muy pequeños en la superficie. Puede utilizarse tanto para estudiar cambios de volumen en procesos geomorfológicos como para evaluar la precisión de una nube de puntos comparándola con otra de referencia (obtenida mediante TLS). El algoritmo M3C2 trabaja sobre una selección de puntos de la nube de referencia, referidos como “*core points*”, no sobre todos los que componen la nube. Esto permite acelerar los cálculos, aunque también se pueden utilizar todos los puntos de la nube, es decir, considerando como *core points* todos los puntos.

El proceso para comparar las dos nubes de puntos se lleva a cabo en dos pasos (Lague et al., 2013):

1. Cálculo de las normales a la superficie de un entorno en una de las nubes en 3D. Se define un entorno de trabajo con dimensiones indicadas sobre el que se orientan las normales de una de las nubes.
2. Cálculo de la distancia entre las dos nubes de puntos. Sobre las normales anteriormente calculadas se proyecta un cilindro, de dimensiones indicadas por el usuario, sobre la otra nube de puntos. Es en este entorno del cilindro sobre el que se proyecta el punto más próximo de la otra nube.

Hay dos parámetros que hay que fijar antes de proceder al cálculo: la escala normal y la escala de proyección (para ver una explicación gráfica del método, consultar (Lague et al., 2013)). La escala normal es el diámetro de la esfera que se toma alrededor de cada *core point* para calcular la normal. Esta normal orientará el cilindro dentro del cual se buscarán puntos en la otra nube. La escala de proyección es el diámetro de ese cilindro. Cuanto más grandes sean ambos diámetros, menos influencia tendrán las irregularidades locales, y mejor se orientará la normal. Por otra parte, más puntos entrarán en el cálculo y éste será más lento. Otro parámetro es la altura máxima del cilindro (*max depth*).

Cuando hay ausencia de puntos correspondientes en la nube comparada, el M3C2 no hace una interpolación, sino que simplemente no calcula ninguna diferencia. También puede ser que los puntos de la otra nube estén más lejos que la altura máxima que hayamos fijado, y por eso el programa interpreta que no hay puntos equivalentes.

El resultado para cada *core point* sería la distancia a la otra nube, es decir, la altura del cilindro. Se tiene en cuenta la distancia entre las posiciones medias de cada conjunto de puntos (el de la nube referencia dentro de la esfera y el de la nube comparada dentro de la esfera del otro extremo del cilindro) sobre el eje del cilindro.

M3C2 opera íntegramente en 3D, lo cual hace que sea apropiado para trabajar con datos obtenidos mediante TLS o fotogrametría. Con este método no es necesario convertir la nube de puntos a malla o a ráster para calcular las distancias. Sirve para sustituir la técnica de diferencia entre dos MDE (DoD, DEM of difference), en la que se restan los valores de un MDE ráster a los de otro MDE ráster de referencia. Wheaton et al (2009) aplican la técnica de DoD al estudio de la evolución de un tramo de cauce tipo braided o trenzado, y explican cómo contabilizar su incertidumbre. La distancia entre las dos nubes se puede representar gráficamente, como podemos ver en la Figura 18.

Consideraremos la cobertura sobre el plano horizontal. Para estimar la cobertura de cada modelo se ha producido un ráster con resolución de 5cm a partir de cada nube de puntos, dejando vacías las celdas sin datos. El área total de las celdas con datos (puntos de la nube) es el que se ha comparado. Esto sólo nos proporciona un valor aproximado de la cobertura de los datos. Un MDE es un modelo continuo, y por tanto hay que solucionar la falta de datos. Normalmente esto se hace por interpolación. Cuando las áreas sin datos son grandes los valores interpolados pueden ser muy diferentes de los reales. En cambio cuando la distancia entre píxeles de valor conocido es pequeña los valores interpolados difieren menos de los reales. Para la producción de un MDE hay que prestar atención a los espacios sin datos de mayor dimensión, ya que la interpolación de z en esos espacios implicaría mayor error.

También se ha obtenido un área de influencia de 10 cm alrededor de cada píxel con información (pasando a formato vectorial). De esta manera se genera una superficie continua que es más fácil de representar e interpretar. También se compara la superficie de estas áreas de influencia. El valor de 10 cm se ha elegido porque es el que correspondería a dos píxeles, es decir, se considera cubierta toda superficie a dos o menos píxeles de distancia de cada píxel con información. Aun así esto sólo es una estimación para hacernos idea de la distribución de los puntos de las distintas nubes, mediante una representación gráfica (ver figuras 6 y 20).

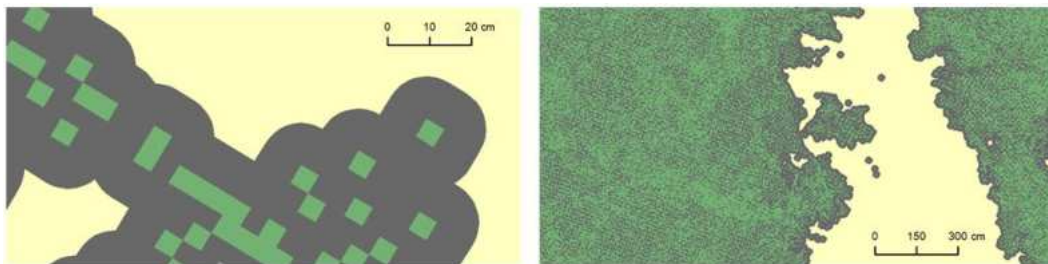


Figura 6. Aquí se muestra cómo se ha estimado la superficie cubierta por cada nube. Se ha generado un buffer de 10 cm alrededor de cada píxel de 5cm que contenía puntos de la nube. La superficie (gris) generada es la que se ha utilizado para calcular la cobertura de cada nube.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de cada modelo

A partir de los datos tomados con el TLS se ha obtenido una nube de 15.291.473 puntos que cubre la mayor parte del área de detalle con una densidad elevada. Esta nube sólo cubre el área de detalle y procede de la combinación de todos los estacionamientos y seleccionar un 10% de los puntos. No se observan apenas outliers, ni áreas duplicadas. Los datos se toman en un sistema métrico porque el escáner está calibrado y luego las dianas que se usan para enlazar las tomas se han registrado con GPS. El RMSE de registro es de orden milimétrico. En la Figura 7 se muestran los puntos de la nube de TLS. En ella podemos observar varios efectos de la toma de datos con TLS. En la parte inferior izquierda de la imagen hay un área de forma circular en cuyo interior la densidad de puntos es mucho menor que fuera. Se trata de un estacionamiento del aparato, y justo debajo no se ha captado información. Los puntos del interior se tomaron desde otros estacionamientos. También se ve como a medida que nos alejamos del borde del círculo la densidad de puntos va siendo menor, debido a que el espacio entre cada barrido va siendo cada vez mayor. El hueco de la izquierda corresponde a la sección del troco de una encina.

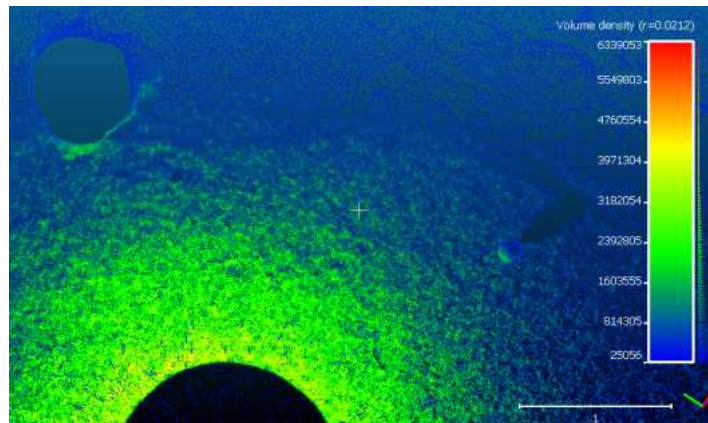


Figura 7. Nube de puntos procedente de unir los datos de todos los estacionamientos del TLS y aplicar un muestreo aleatorio del 10%. Coloreada con valores de densidad de puntos.

Tabla 3. Resultados del Informe de calidad de PostFlight Terra 3D para el modelo de fotografías aéreas.

Images	median of 61883 keypoints per image	✓
Dataset	249 out of 249 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.05% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 29431.8 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 10 GCPs (10 3D), mean RMS error = 0.018 m	✓

En la Tabla 3 podemos ver resultados del informe de calidad de PostFlightTerra 3D. Todos los apartados se han marcado como válidos. Según el manual del programa se entiende por válido lo siguiente:

- Images: Hay más de 10.000 puntos comunes identificados en cada imagen.
- Dataset: Se han calibrado más del 95 por ciento de las imágenes.
- Camera Optimization: La distancia focal optimizada es menos del 5 por ciento de la distancia focal inicial.
- Matching: Hay más de 1000 uniones por imagen calibrada
- Georeferencing: Se indica que se han usado puntos de control y que el error es menor que el tamaño de GSD.

En la Figura 8 podemos ver el solape de las imágenes que cubren el área de estudio. En la mayor parte del área hay cinco o más imágenes superpuestas. Sólo en los bordes este número es inferior. El área de detalle se encuentra en la zona verde por lo que el solape es suficiente. A la derecha de la figura vemos un esquema en el que se indican en azul los puntos donde se tomaron las imágenes en los cinco vuelos. El recorrido de vuelo es el mismo en las cinco ocasiones, ya que se aplicó la misma planificación.

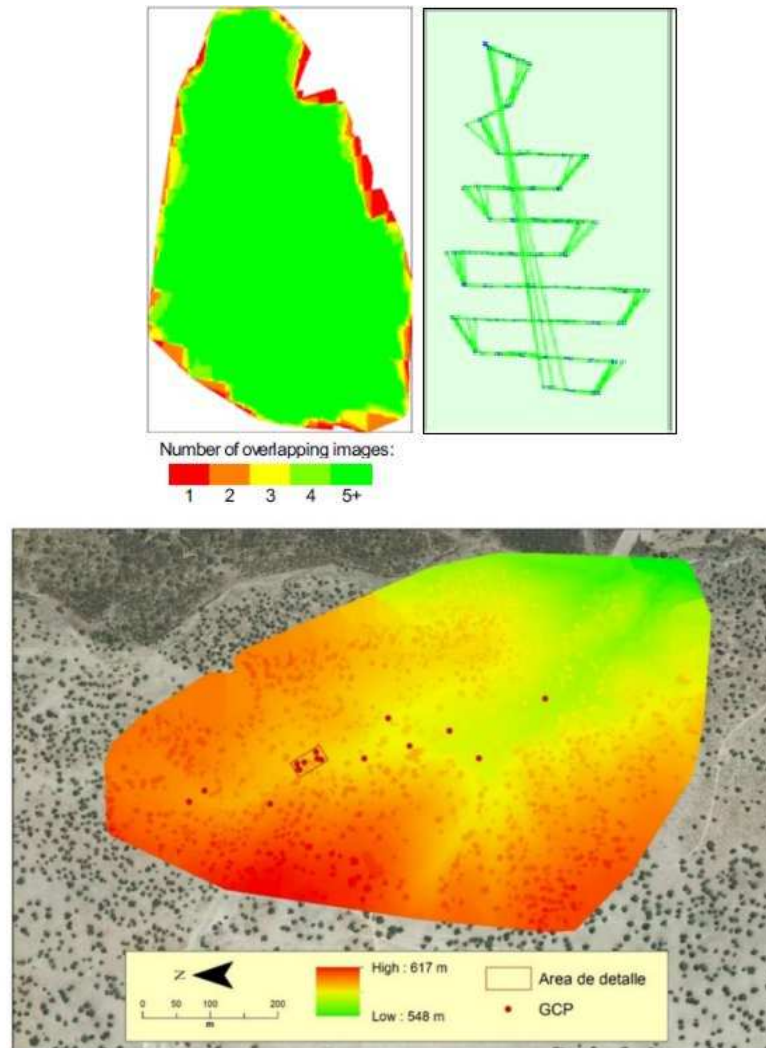


Figura 8. (Superior) Representación del solape de las imágenes de los cinco vuelos con el UAV. **Figura 9.** (Inferior) MDS generado con las fotos aéreas. PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional de España.

En la Figura 9 podemos ver el MDS obtenido con PostFlight Terra 3D. La información de la nube de puntos es utilizada por el programa para generar un DSM en formato de ráster (geoTiff), con un tamaño de pixel de 3,83 cm. El valor del RMSE es 0,018 m. Por lo que la georreferenciación bastante precisa.

El programa divide la nube de puntos del área de estudio en varias partes, y para cada una de ellas genera un archivo .LAS. En dicha nube se representan las copas de los árboles, y esta es información que no nos interesa. En cambio hay poca información de la superficie del terreno que se encuentra debajo de las copas de las encinas. Esto sucede porque se han utilizado imágenes verticales (nadir), y las copas de los árboles ocultaban el suelo. La densidad de puntos bajo las copas de los árboles es mucho menor que en suelo descubierto. El resultado es que hay unos “huecos” muy grandes en la nube de puntos, para los que apenas hay información sobre la superficie (ver Figura 10 y Figura 11).

La nube de puntos obtenida mediante fotogrametría aérea es la menos densa, y además la densidad no se distribuye de forma homogénea, ya que es muy diferente según se esté al descubierto o bajo vegetación. En las áreas que están al descubierto la densidad de puntos es más uniforme. En las áreas vegetadas se registran muchos puntos pero corresponden a las copas de los árboles y no a la superficie del terreno, y por lo tanto no nos servirán para modelar esa parte del terreno.



Figura 10. (Izquierda) Vista oblicua de la nube de puntos de foto aérea en la que puede apreciarse la falta de información de la superficie del terreno bajo la copa de los árboles. **Figura 11.** (Derecha) Vista vertical de la nube de puntos procedente de foto aérea después de haber eliminado los puntos correspondientes a vegetación arbórea.

Se produjeron dos modelos diferentes a partir del conjunto de fotos terrestres. En el primer modelo se incluyeron todas las fotografías, y se trataron mediante Agisoft PhotoScan, realizando cada parte del proceso en modo automático. La nube de puntos obtenida se caracterizaba por ser difusa y presentar muchos puntos erróneos. Se observan en algunos lugares planos paralelos, principalmente en los extremos del área de detalle y en áreas sombreadas. Estos errores es probable que se deban a las condiciones de iluminación, como señalan (Gómez-Gutiérrez, Schnabel, et al., 2014). Ya que en las fotografías se tomaron a mediodía en un día soleado, y se proyectaban muchas sombras. Además se tardó unos 20 minutos en tomar las 325 fotos, por lo que la posición de las sombras puede variar ligeramente. Esto hace que durante el proceso de foto-reconstrucción se obtengan puntos erróneos.

Para el segundo modelo se hizo una selección de las fotografías, eliminando las que tuvieran peor calidad, o las que tuviesen un solape demasiado elevado. A partir de la selección de 266 fotografías se volvió a realizar el proceso de foto-reconstrucción con Agisoft PhotoScan. El resultado de este segundo modelo fue mejor: no aparecían planos paralelos, y la nube de puntos era más concentrada y agrupada de forma similar a los elementos que aparecían en realidad en el área de detalle. Esto permitió una mejor identificación de los puntos de control, por lo que la georreferenciación fue más precisa. Por estas razones se desechó el primer modelo y se utilizó el segundo (ver Figura 12). La única limitación del segundo modelo es que no cubre por completo el área de detalle de 50m x 25 m, pero sí que cubre de manera continua la cárcava y sus inmediaciones. Esto nos permite compararlo con los otros modelos en esa porción de terreno, que es la que más irregularidades y obstáculos en la línea de visión. Por ello el segundo modelo hecho a partir de fotografía terrestre sí que resulta válido, a priori, para nuestro objeto de estudio.

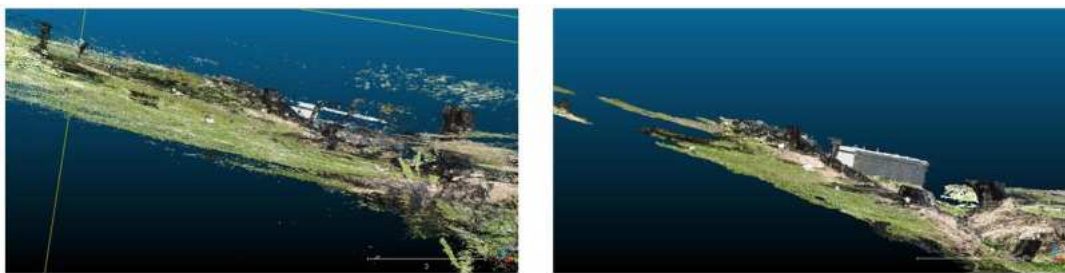


Figura 12. Comparación entre el primer modelo (izquierda) y el segundo modelo (derecha). Puede verse como en el segundo modelo los puntos están menos dispersos.

Combinando las dos nubes de puntos anteriores hemos obtenido un modelo en el que ambas se complementan. De esta manera las áreas de la cárcava que quedaban ocultas bajo las encinas en el modelo de foto aérea se han “rellenado” con los puntos del modelo de foto terrestre. Así se consigue representar superficies complejas como las paredes laterales de la cárcava, y obtener un modelo más completo. En la Figura 13 podemos ver como se ha complementado la nube de

puntos procedente de foto aérea con la nube de fotos terrestres. En las imágenes b) y d) observamos que hay información de la cárcava en el área que quedaba bajo las encinas. Las densidades de las nubes de origen eran diferentes, siendo mucho más densa la de foto terrestre, ya que esta nube menor superficie y mayor número de puntos. En la Figura 13 también puede apreciarse la diferencia de densidad entre las dos nubes. Esto no será un inconveniente a la hora de obtener un MDE ráster, ya que la cobertura es más continua.

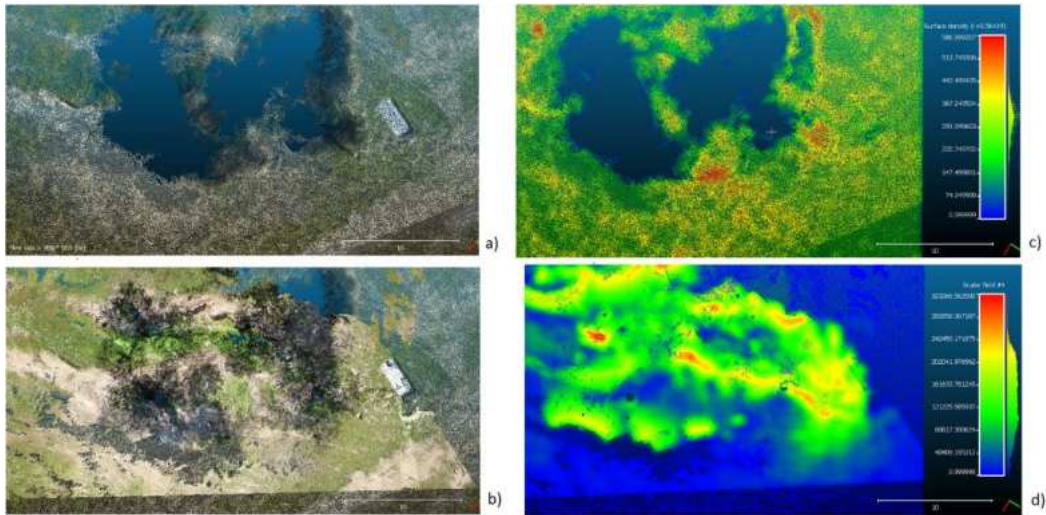


Figura 13. Comparación de la nube de puntos obtenida con fotos aéreas con la nube de puntos combinada. a)Nube de puntos del modelo de foto aérea coloreada mediante RGB. b)Nube de puntos combinada coloreada mediante RGB. c)Nube de puntos del modelo de foto aérea coloreada mediante valores de densidad. d)Nube de puntos combinada coloreada mediante valores de densidad. La densidad se expresa en puntos por m^2 . Las escalas son diferentes en cada caso. En todas ellas la perspectiva es vertical.

Tabla 4. Número y densidad de puntos de cada nube obtenida. La densidad se ha calculado dividiendo el número de puntos entre la superficie del área de detalle ($1250 m^2$).

Modelo	Puntos	Densidad (puntos/ m^2)
TLS	15.291.743	12.233
Foto aérea	361.312	289
Foto terrestre	63.413.055	50.730
Combinado	63.803.649	51.042

Análisis de calidad

Tabla 5. Valores de RMSE para cada modelo (expresados en m).

	Modelo TLS	M. foto aérea	Modelo foto terrestre	Modelo combinado
RMSE (m)	<0,01	0,018	0,024	-

En la Tabla 5 podemos ver los valores de RMSE de georreferenciación para cada modelo obtenido. El modelo TLS es el que tiene una georreferenciación más precisa, ya que sus errores son de orden milimétrico. La georreferenciación de los modelos de foto aérea y terrestre también es precisa. El mayor RMSE corresponde al modelo de foto terrestre y es de 2,4 cm. Por ello que podemos considerar válidos estos resultados teniendo en cuenta el tamaño del área de detalle y el tamaño de píxel obtenido en la ortofotografía. Para el modelo combinado no se da ningún valor de RMSE porque no lo hemos georreferenciado, sino que se ha obtenido por

combinación de dos modelos que habían sido georreferenciados previamente, cada uno con su valor de RMSE (0,018 m y 0,024 m respectivamente).

En la Figura 14 a) podemos ver la representación gráfica de la distancia C2C entre la nube de puntos del modelo de foto aérea y la nube de puntos del TLS. Cuando aplicamos la herramienta C2C en CloudCompare se genera una nube de puntos resultado. En esta nube, cada punto tiene un valor escalar correspondiente a la distancia entre las dos nubes que queremos comparar. La leyenda se organiza en cuatro colores, y a su derecha se representa un histograma con los valores. Las distancias entre las dos nubes son en su mayoría inferiores a 5 cm y esto puede verse tanto en la representación gráfica como en el histograma. En algunos lugares la distancia aumenta considerablemente. Se trata de las áreas donde hay vegetación arbórea o arbustiva. En dichas áreas hay numerosos puntos de la nube que comparamos que corresponden a vegetación, y que no se habían eliminado completamente. Por eso se obtienen distancias mayores. Si nos fijamos en las áreas de suelo desnudo veremos como la distancia entre las dos nubes de puntos es mínima.

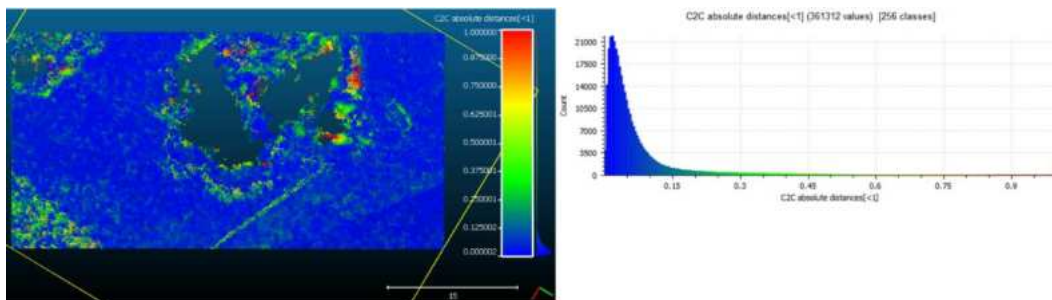


Figura 14. a) Representación gráfica de C2C entre las nubes de puntos del modelo de foto aérea y de TLS. b) Histograma de frecuencias de las distancias absolutas C2C entre las dos nubes.

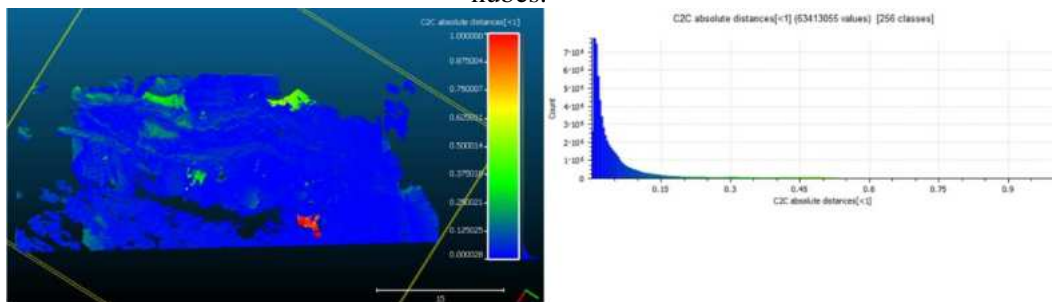


Figura 15. a) Representación gráfica de la distancia C2C entre la nube del modelo de foto terrestre y la del modelo TLS. b) Histograma de frecuencias de las distancias absolutas C2C entre las dos nubes.

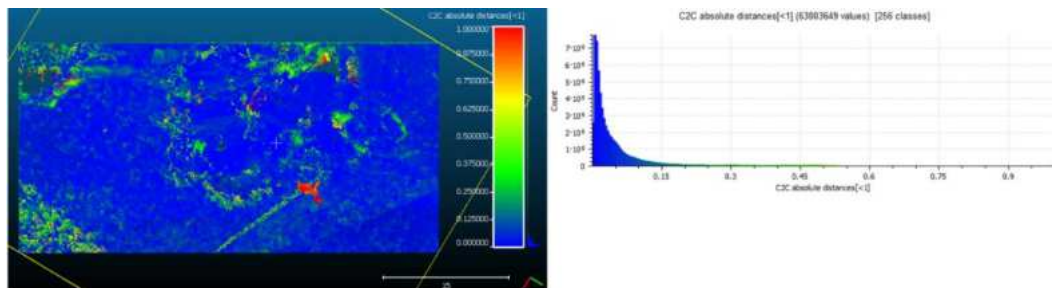


Figura 16. a) Representación gráfica de la distancia C2C entre la nube de puntos combinada y la nube de puntos de TLS. b) Histograma de frecuencias de las distancias absolutas C2C entre las dos nubes.

También podemos ver que la nube de puntos resultado presenta dos grandes “huecos” en las áreas ocupadas por vegetación arbórea. Esto se debe a que habíamos eliminado manualmente esos puntos, y por eso no puede calcular ninguna distancia. En la consola del programa

obtenemos información del proceso mientras se realiza. El valor medio de la distancia entre las nubes es 8,7 cm, con una desviación típica de 14,1 cm. El histograma que se presenta en la Figura 14 b) nos ayuda a interpretar estos datos. Su eje vertical corresponde al número de puntos observados, y el eje horizontal al valor de la distancia con la nube TLS para cada punto. Podemos ver como la mayor parte de las distancias están en el intervalo 0-5cm, seguidas de otro grupo numeroso en el intervalo 5-10 cm. Las distancias mayores de 15 cm entre ambas nubes representan una proporción muy pequeña en el total de puntos. Por todo ello podemos decir que ambas nubes son muy cercanas entre sí. El pico rojo al final del histograma se debe a una zona de puntos que sólo existe en una de las nubes y por eso la distancia es tan grande. Habitualmente sucede si hay huecos, o si difieren los puntos en los bordes.

En la Figura 15 vemos una representación gráfica de la distancia C2C entre la nube de puntos procedente de las fotografías terrestres y la nube de puntos del TLS. En la mayor parte de los puntos la distancia es muy pequeña, ya que las dos nubes están muy cerca. Sin embargo hay ciertas áreas donde la distancia entre ambas nubes es mayor. En estas áreas la distancia es bastante más grande que a su alrededor, y aumenta de forma brusca. Si examinamos de cerca la nube de puntos comparada vemos que se trata de grupos de puntos aislados que no habíamos eliminado. Estos puntos proceden de vegetación arbustiva o arbórea, y por eso su elevación contrasta mucho con la de su entorno. También se observa un área donde la distancia entre nubes es mayor, y corresponde a un lugar de transición entre la sombra y la superficie iluminada por el sol (parte superior derecha, coloreada en verde). En ocasiones, la áreas que en la escena están ocupadas por sombras, dan lugar a fotogramas con poco contraste en dicha zona y como consecuencia, pocos puntos en el modelo resultante de la foto-reconstrucción. En los puntos que corresponden al terreno y que tienen buena iluminación (la mayor parte de puntos del modelo) la distancia entre nubes es mínima.

En la consola del programa muestra el resultado de la operación: la distancia media entre las dos nubes es 5,8 cm, con una desviación típica de 9,2 cm. Esto quiere decir que las dos nubes son muy cercanas entre sí, aunque hay algunos puntos cuya distancia (absoluta) es mayor que la media. Esta nube tiene menor diferencia con la de referencia que la nube de fotos aéreas, ya que la distancia media es menor.

También podemos ver en la consola que el tiempo de computación es grande (1339,37 s). Esto se debe a que la distancia C2C se calcula para todos los puntos de la nube que queremos comparar. La representación gráfica de la distancia C2C y del histograma de la Figura 15 b) nos ayudan a la interpretación de los datos. En dicho histograma vemos cómo para la mayor parte de los puntos, la distancia con la nube de TLS es menor de 5 cm, sin embargo puntos en mucho menor proporción que tienen valores de distancia más altos, y hacen aumentar el valor medio de la distancia. Si comparamos este histograma con el del modelo de foto aérea (Figura 14 b) vemos que en el caso de la fotografía terrestre hay menos variabilidad de la distancia, y que los valores de distancia están más concentrados. En la Figura 17 se muestra una vista de perfil de la nube de puntos de foto terrestre y otra de la nube de puntos de foto aérea. La concentración de puntos es bastante mayor en la nube de foto terrestre.

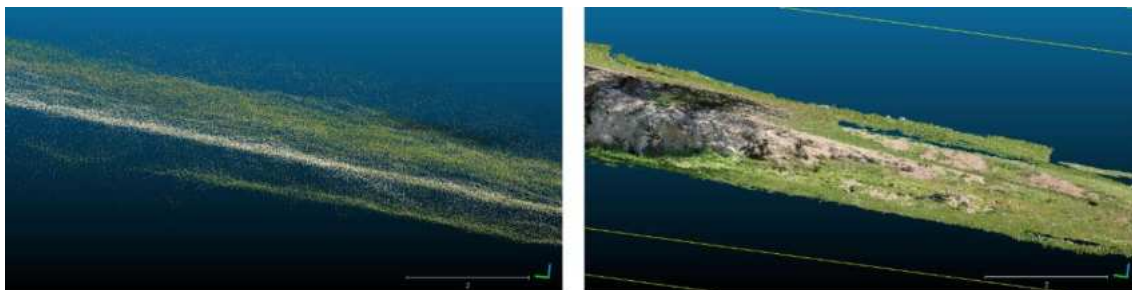


Figura 17. Vista oblicua de la nube de puntos del modelo de foto aérea (izquierda) y del modelo de foto terrestre (derecha). Puede apreciarse que en el caso de la foto terrestre hay mayor densidad de puntos y menor dispersión de los mismos.

En la Figura 16 a) podemos ver la distancia C2C entre la nube combinada y la nube de referencia. En la mayor parte de los puntos la distancia es menor de 5 cm. Es decir, que las dos nubes son muy cercanas. En algunos lugares se observa que la distancia es mayor. Las causas de eso ya se han explicado en los previamente. Para los puntos que corresponden a la superficie del terreno la distancia es muy pequeña.

En la Figura 16 b) podemos ver más información sobre la distancia entre nubes. La distancia media entre las nubes es de 5,8 cm, con una desviación típica de 9,3 cm. En el histograma podemos ver cómo la mayor parte de las distancias medidas son menores de 5 cm. También se registran distancias que son mucho mayores, y que aunque representen una proporción muy pequeña hacen aumentar el valor medio de la distancia. La conclusión que podemos sacar del histograma y de la representación gráfica es que para las dos nubes están muy cerca para la mayor parte de sus puntos y que la diferencia entre ambas es casi siempre menor de 5 cm.

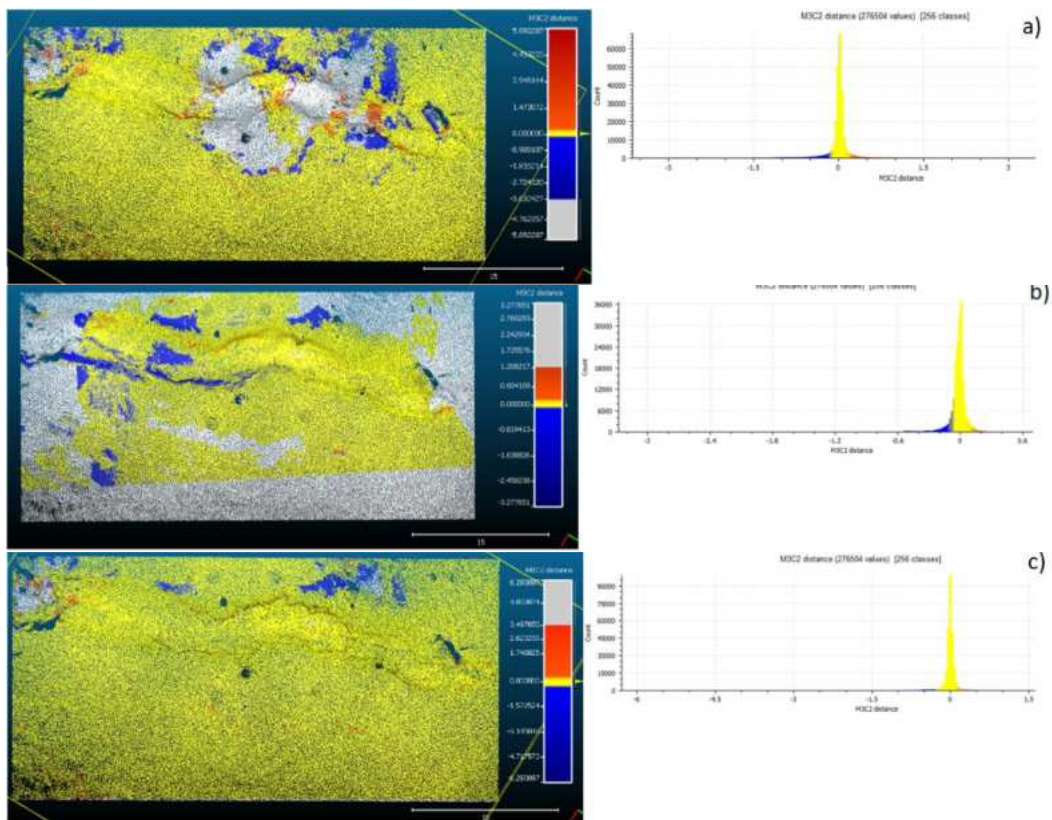


Figura 18. a) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto aérea y la nube de puntos de TLS. b) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto terrestre y la nube de puntos de TLS. c) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos combinada y la nube de puntos de TLS. También se representan los histogramas de frecuencias de las distancias M3C2 entre las dos nubes (parámetros automáticos).

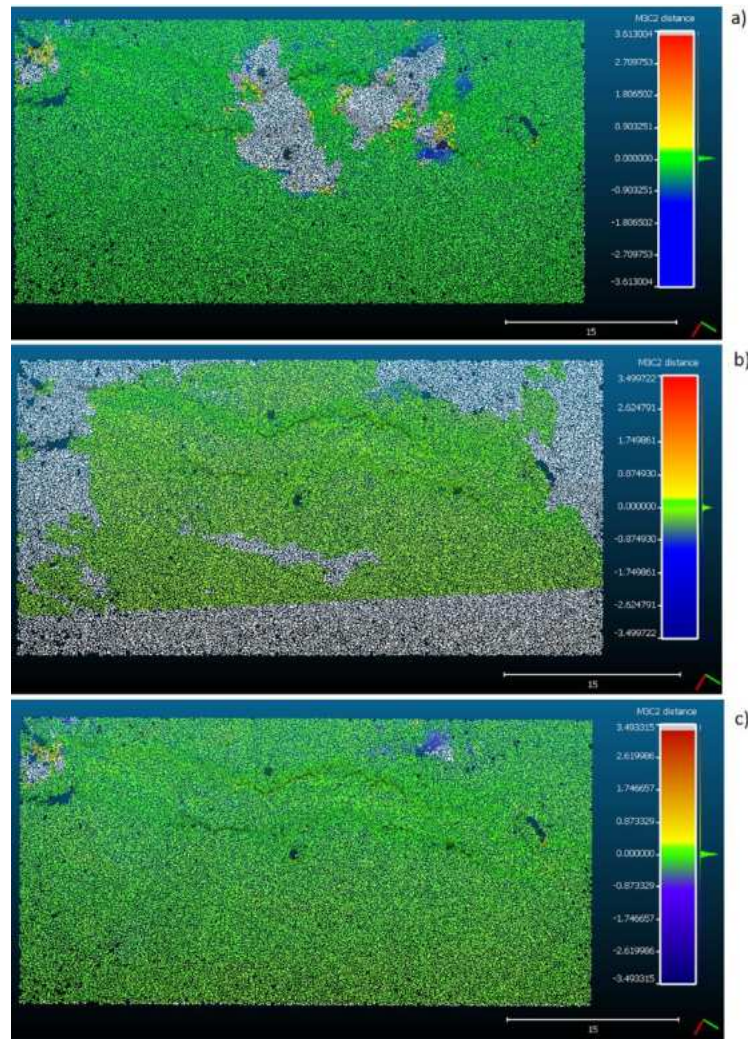


Figura 19. a) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto aérea y la nube de puntos de TLS. b) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto terrestre y la nube de puntos de TLS utilizando parámetros promedio. c) Representación gráfica de la distancia M3C2 entre la nube de puntos combinada y la nube de puntos de TLS utilizando parámetros promedio.

Tabla 6. Parámetros empleados en el cálculo de M3C2 entre cada modelo con el modelo TLS (calculados por el software). Unidades en m.

Modelo	Escala normal	Escala proyección	Altura cilindro	Dist. entre core p.
Foto aérea	0,731	0,731	3,653	0,365
Foto terrestre	0,398	0,025	3,288	0,012
Combinado	0,220	0,110	3,652	0,055

Tabla 7. Parámetros promedio de los valores calculados por el software, que se muestran en la Tabla 6, utilizados en el segundo cálculo de M3C2.

	Escala normal	Escala proyección	Altura cilindro	Dist. entre core p.
Valores medios	0,449667	0,288667	3,531	0,144

Tabla 8. Relación entre número de core points y número de normales utilizados en cada cálculo de M3C2.

Modelo	Parámetros automáticos			Parámetros promedio		
	Core points	Normales	% Core p.	Core points	Normales	% Core p.
M. TLS	276.504			41.938		
M. Foto aérea	-	235.477	85,16	-	37.755	90,03
M. Foto	-	180.415	65,25	-	27.343	65,20
M.	-	271.230	98,09	-	41.475	98,90

El cálculo de la distancia M3C2 se ha hecho dos veces con parámetros distintos. En las tablas 6 y 7 pueden verse los valores utilizados en cada caso. Primero se llevó a cabo para cada modelo con los parámetros que estima el software de forma automática. Esta estimación se hace en función de la densidad de puntos que tenga cada nube, distribución y rugosidad de la superficie. Después se hizo un promedio de cada parámetro y se utilizaron dichos promedios para el cálculo de las distancias M3C2 en todos los modelos. La unificación en las dimensiones del cilindro y la escala utiliza permite una comparación de las distancias resultantes. También se han tenido en cuenta las recomendaciones de Stumpf et al (2015) sobre la escala normal. Conviene que esté entre 0,3 m y 2 m para garantizar que la medida de la distancia no es alterada por la rugosidad de la superficie.

En la Tabla 8 se indica el porcentaje de *core points* utilizados durante el cálculo de la distancia. Se ha incluido esta información porque se puede interpretar como una medida indirecta de la cobertura de cada modelo con respecto al modelo TLS. Tanto con parámetros “automáticos” como con parámetros promedio, el porcentaje de *core points* utilizados es muy alto (98,09% y 98,90% respectivamente). Esto quiere decir que casi el cien por cien de los *core points* de la nube TLS tenía puntos correspondientes en la nube comparada, y que además la distancia era inferior a la altura máxima del cilindro (3,531 m). En la nube terrestre la cobertura del área de detalle es bastante escasa, y esto se refleja en el porcentaje de *core points* utilizados para calcular las normales: sólo el 65% fue utilizado en cada caso. La nube de puntos aérea cubre más superficie del área de detalle que la terrestre, y el porcentaje de *core points* utilizados es también más alto. Dicho porcentaje es más alto si utilizamos parámetros promedio.

En la Figura 18 a) vemos representada la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto aérea y la nube de referencia (TLS) calculada con parámetros automáticos. En las áreas donde había puntos correspondientes vegetación se registran valores de distancia más alejados de cero, tanto positivos como negativos. En las áreas sin vegetación arbórea los valores de distancia entre las dos nubes son homogéneos y cercanos a cero.

Los puntos representados en la Figura 18 son los *core points*, que son una parte de los puntos de la nube de referencia, en los que se ha calculado la normal y la distancia a la otra nube. Se representan en color gris todos aquellos *core points* para los que no se ha podido calcular una distancia. En este caso no se ha podido calcular porque esos puntos de la nube de foto aérea correspondían a vegetación arbórea y se eliminaron.

Si nos fijamos en el histograma de la Figura 18 a) veremos como la mayor parte de las distancias es muy cercana a cero. Las distancias de orden decimétrico están en proporción muy pequeña, tanto con valores positivos como negativos. Las diferencias mayores a un metro no se aprecian en el histograma porque su proporción es mínima. Por ello, podemos concluir que las diferencias en la elevación entre las dos nubes son muy pequeñas, y podemos considerar que ambas son muy similares en cuanto a valores de elevación. También se constata la ausencia de errores sistemáticos.

En la Figura 19 se representa la misma distancia pero calculada con parámetros promedio. Vemos como hay menos puntos sin correspondencia (en color gris), y también como los valores de distancia son más homogéneos entorno a cero. Esto concuerda con la información mostrada en la Tabla 10 donde vemos cómo la media de valores absolutos de M3C3 con parámetros promedio es menor que utilizando parámetros automáticos.

En la Figura 18 b) se representa gráficamente la distancia M3C2 entre la nube de puntos de foto terrestre y la nube de TLS, calculada con parámetros automáticos. El resultado es muy similar al obtenido con la distancia C2C, ya que la distribución espacial de las diferencias es la misma.

En color gris claro se muestran los *core point* para los que no se ha calculado ninguna distancia. En este caso no ha calculado porque no había puntos de la nube de foto terrestre dentro del cilindro normal que habíamos definido con los parámetros elegidos, debido a la existencia de huecos sin datos, es decir a una cobertura escasa en algunas zonas.

Para las zonas sin vegetación arbórea la distancia entre las dos nubes es pequeña. La mayor parte de las distancias calculadas es muy cercana a cero. Esta concentración puede observarse en el histograma de la Figura 18. Los valores de distancia alejados de cero están representados en una proporción mínima. Por tanto este resultado concuerda con el obtenido mediante C2C para el modelo de fotos terrestres

En la Figura 19 se representa la distancia M3C2 pero calculada con parámetros promedio. El resultado es muy similar al obtenido con parámetros automáticos. La nube se ajusta muy bien a la de referencia, y las distancias entre una y otra son muy cercanas a cero, aunque hayamos variado los parámetros.

En la Figura 18 c) vemos la representación gráfica de la distancia entre la nube de puntos combinada y la nube de puntos de TLS calculada con parámetros automáticos. La distancia entre las dos nubes es centimétrica en la mayor parte del área de detalle. Aquí se puede apreciar el efecto de combinar las otras dos nubes de puntos: la cobertura es mucho mayor. Las áreas con puntos grises son mucho más pequeñas, ya que los puntos de la nube combinada cubren casi todo el área de detalle, y por lo tanto se puede calcular la distancia. Al combinar las dos nubes en una se ha conseguido cubrir las áreas de las que no se tenían datos. En la Figura 18 c) vemos el histograma de distancias M3C2 entre ambas nubes. En él se puede observar lo mismo que en la representación gráfica: la mayor parte de las distancias entre las dos nubes es centimétrica. Por tanto las dos nubes son muy similares en cuanto a valores de elevación. Se observa como con la combinación de las dos nubes de puntos mejora notablemente la cobertura porque ambas nubes se complementan. En esta figura no se puede valorar si hay mejora del ajuste entre las nubes, ya que los códigos de color no son los mismos. Esa información figura en la Tabla 10. En la Figura 19 se representa la distancia M3C2 pero calculada con parámetros promedio. El resultado es similar al obtenido con parámetros automáticos.

Tabla 9. Datos de cobertura de cada modelo. Superficie en m².

Modelo	Superficie	% Superficie	Superficie	% Superficie
TLS	1.184,33	94,75	1.245,23	99,62
Fotografía	685,18	54,81	1.148,20	91,86
Fotografía	714,26	57,14	781,86	62,55
M. Combinado	1.037,39	82,99	1.240,54	99,24

En la Tabla 9 podemos ver los datos de cobertura de cada modelo (cobertura considerada sobre el plano horizontal). La segunda y tercera columnas se refieren a los datos de superficie estimados mediante píxeles de 5 cm. El modelo terrestre presenta un valor de cobertura muy similar al del modelo de foto aérea, pero esto es resultado de que la nube de puntos de foto terrestre tiene una alta concentración, pero sólo en un área reducida. En cambio la nube de puntos del modelo de foto aérea tiene los puntos menos concentrados pero más distribuidos por el área de detalle. Debe tenerse en cuenta que una parte del área no cubierta corresponde a píxeles aislados o en grupos muy pequeños, y no puede apreciarse en las imágenes.

La cuarta y quinta columnas incluyen los datos de superficie obtenidos mediante un polígono de área de influencia (10 cm alrededor de cada píxel). Si utilizamos este otro método, los resultados son bastante diferentes, y se aproximan más a la interpretación visual de la cobertura. Observamos que la superficie cubierta por el modelo de fotos aéreas resulta bastante superior que estimándola mediante píxeles. En cambio, la superficie cubierta estimada del modelo tierra

se mantiene. Tras combinar los dos modelos, la superficie cubierta estimada es muy similar a la del modelo TLS. En la Figura 20 se representa gráficamente esta comparación.

La superficie total cubierta por el modelo combinado es bastante mayor que la cubierta por los otros dos modelos por separado, por lo que podemos afirmar que hay una mejora notable de la cobertura cuando se combinan ambos modelos.

Tabla 10. Tabla resumen de la calidad de los modelos de nubes de puntos.

Modelo	RMSE	Parámetros automáticos		Parámetros promedio		C2C (media)
		M3C2 (media)	M3C2 (media valores abs)	M3C2 (media)	M3C2 (media valores abs)	
TLS	<0,01	-	-	-	-	-
Foto aérea	0,018	-0,002	0,016	0,012	0,080	0,087
Foto	0,024	-0,019	0,044	-0,021	0,051	0,058
Combinado	-	-0,006	0,055	-0,005	0,048	0,058

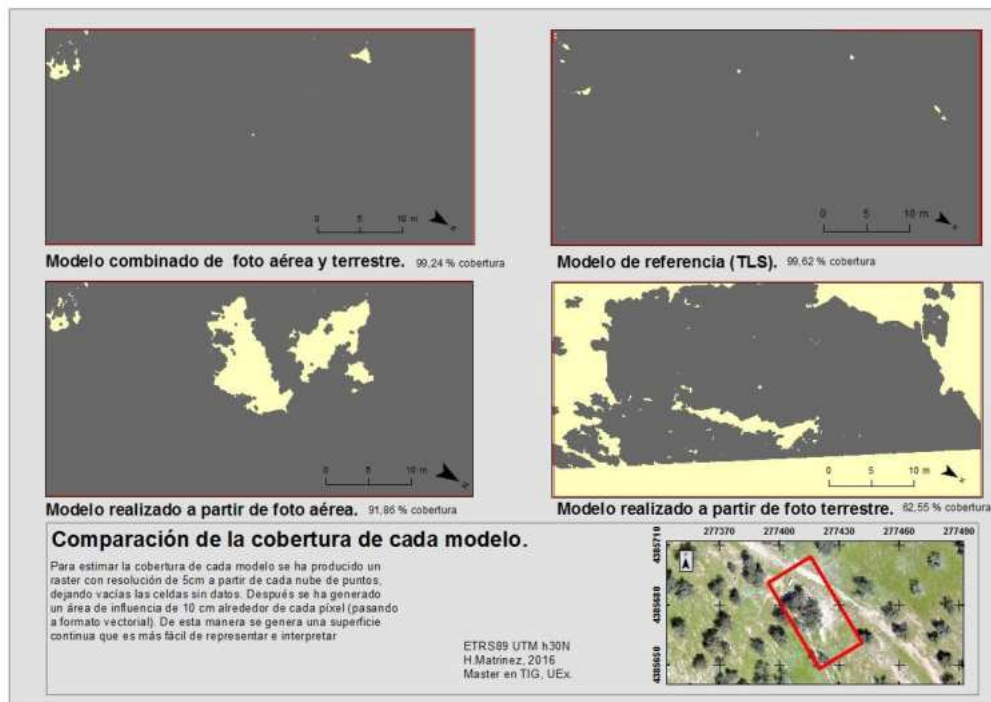


Figura 20. Cobertura comparada de cada modelo (Buffer de 10 cm alrededor de cada píxel con información).

Explicación de los resultados

La síntesis de los resultados obtenidos en este TFM es la Tabla 10. En ella, aparecen los diferentes parámetros de calidad de cada nube de puntos. El RMSE es un indicador de la calidad estructural del modelo y presenta, tanto para el modelo de Fotogrametría Aérea y el de Fotogrametría Terrestre valores de orden centimétrico en torno a los 2 cm. Se trata de modelos de elevada calidad estructural. Llama la atención que ambos modelos presenten un RMSE similar cuando el modelo generado a partir de fotogramas aéreos fue producido a partir de fotogramas capturados a distancias mucho mayores que en el caso del modelo terrestre. Las distancias medias del modelo aéreo fueron de 50 m mientras que las fotografías terrestres presentaron distancias al punto principal inferiores a los 10 m. Esto resulta en ratios de precisión

relativa o RPR (del inglés Relative Precision Ratio (M. R. James & Robson, 2012)) mejores para el modelo aéreo.

Respecto a los resultados de la distancia absoluta M3C2 con parámetros medios, se observan distancia significativamente menores para el modelo terrestre y el combinado, pasando las medias de 0,08 m a valores en torno a 0,05 m. Esta tendencia se constató también con los valores para las distancias C2C, corroborándose la robustez de ambos métodos. Podría concluirse que tanto en términos de precisión como de cobertura la utilización conjunta de fotogramas aéreos y terrestres resulta en mejores modelos.

CONCLUSIONES

En este trabajo de fin de Máster se han producido cuatro MDE elevación con datos de diferentes fuentes: Fotografía aérea, fotografía terrestre, combinación de ambas y TLS. Se ha evaluado su calidad en base a tres parámetros: RMSE de georreferenciación, y distancias C2C y M3C2 al modelo de referencia. El objetivo del trabajo era comprobar si la combinación de fotografía aérea y terrestre sirve para obtener un MDE de más calidad que si se utiliza sólo un tipo de fotografía. La combinación de ambos modelos se ha hecho a través de las nubes de puntos obtenidas por foto-reconstrucción SfM.

Tras evaluar la calidad de los modelos resultantes se llega a la conclusión de que el MDE combinado es de mejor calidad que los modelos obtenidos a partir de sólo fotografía aérea o sólo fotografía terrestre. La mejora con respecto a esos modelos radica en la mejor cobertura del terreno, gracias a la combinación de perspectivas. Las fotografías terrestres aportan información de áreas que quedaban ocultas al UAV, tales como superficies con topografía muy irregular (como las paredes de una cárcava) o superficies bajo la copa de los árboles. Además la nube de puntos procedente de fotografías terrestres presenta una alta densidad de puntos, lo cual permite representar con mayor detalle las áreas más ocultas o irregulares.

Si bien en términos de precisión estimada a partir de un parámetro o estadístico robusto y tridimensional (M3C2) no existe una mejora significativa combinando ambos modelos, la cobertura del mismo y la ausencia de zonas sin datos es significativa. (ver Figura 21).

La resolución de las cámaras utilizadas y la baja altura de vuelo han permitido obtener nubes de puntos densas, y un tamaño de pixel pequeño (3,83 cm). El modelo combinado resultante tiene por tanto una alta resolución y se ha podido georreferenciar de forma precisa mediante puntos de control tomados con DGPS. Este procedimiento es adecuado para hacer MDES de pocas ha de superficie.

Se han encontrado ciertos inconvenientes a la hora de realizar el modelo con fotografías terrestres. Por una parte es necesario tomar un gran número de fotografías para asegurar la cobertura del área de interés. Por otra es conveniente tener en cuenta las condiciones de iluminación a la hora de tomar las fotografías.

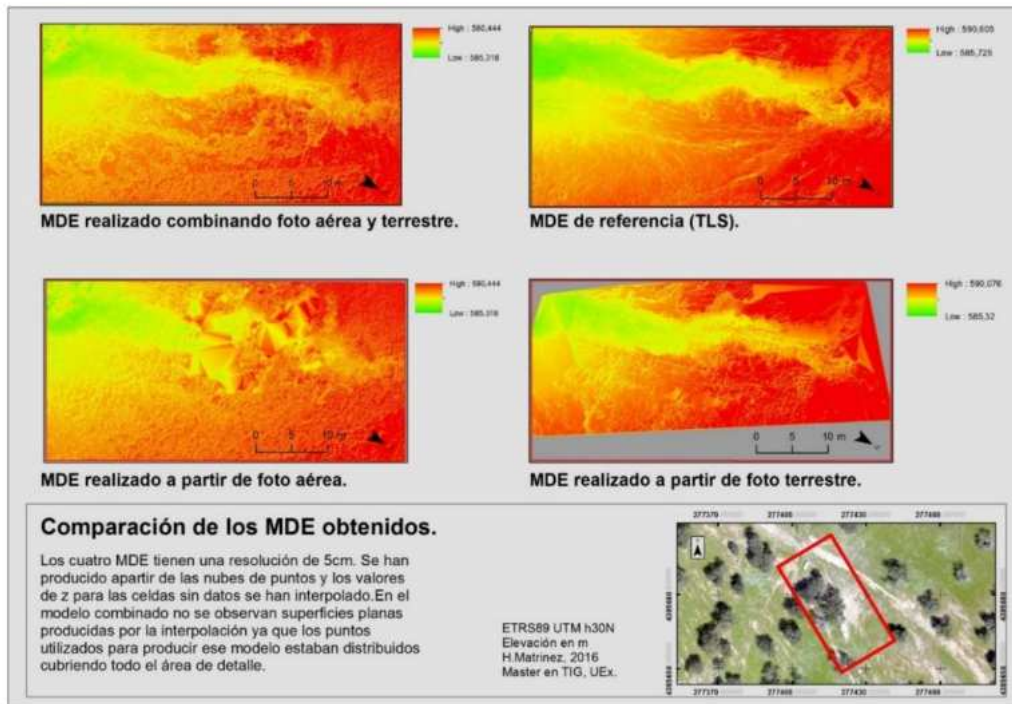


Figura 21. Comparación de los MDE obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Fin de Máster ha sido posible gracias a la ayuda de Álvaro Gómez Gutiérrez como tutor del trabajo. Expreso mi agradecimiento a Judit Rubio Delgado y a Estela Herguido Sevillano por su colaboración. Doy las gracias al Grupo de Investigación Geoambiental (GIGA) de la UEx, por el instrumental utilizado para la adquisición de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brodu, N., & Lague, D. (2012). 3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: Applications in geomorphology. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 121-134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.01.006>

Distances Computation - CloudCompareWiki. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2016, a partir de http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Distances_Computation

Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellan, A. (2015). Image-based surface reconstruction in geomorphometry – merits, limits and developments of a promising tool for geoscientists. *Earth Surface Dynamics Discussions*, 3(4), 1445-1508. <https://doi.org/10.5194/esurfd-3-1445-2015>

Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430. <https://doi.org/10.1002/esp.3366>

Furukawa, Y., & Hernández, C. (2015). *Multi-view stereo: a tutorial*. Boston Delft: Now.

Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R., & Thibault, G. (2005). Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(part 3), W19.

Gómez-Gutiérrez, Á., de Sanjosé-Blasco, J., de Matías-Bejarano, J., & Berenguer-Sempere, F. (2014). Comparing Two Photo-Reconstruction Methods to Produce High Density Point Clouds

and DEMs in the Corral del Veleta Rock Glacier (Sierra Nevada, Spain). *Remote Sensing*, 6(6), 5407-5427. <https://doi.org/10.3390/rs6065407>

Gómez-Gutiérrez, Á., de Sanjosé-Blasco, J., Lozano-Parra, J., Berenguer-Sempere, F., & de Matías-Bejarano, J. (2015). Does HDR Pre-Processing Improve the Accuracy of 3D Models Obtained by Means of two Conventional SfM-MVS Software Packages? The Case of the Corral del Veleta Rock Glacier. *Remote Sensing*, 7(8), 10269-10294. <https://doi.org/10.3390/rs70810269>

Gómez-Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Berenguer-Sempere, F., Lavado-Contador, F., & Rubio-Delgado, J. (2014). Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion. *CATENA*, 120, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.004>

James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F3), F03017. <https://doi.org/10.1029/2011JF002289>

James, M. R., & Robson, S. (2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks: MITIGATING SYSTEMATIC ERROR IN TOPOGRAPHIC MODELS. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(10), 1413-1420. <https://doi.org/10.1002/esp.3609>

Küng, O. (2015). Webinar 10: Merging Terrestrial and Aerial (Oblique and Nadir) Images in One Project [Pix4D Support Site]. Recuperado 29 de marzo de 2016, a partir de <http://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202561599-Webinar-10-Merging-Terrestrial-and-Aerial-Oblique-and-Nadir-Images-in-One-Project>

Lague, D., Brodu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, 10-26.

Matthesen, A. W., & Schmidt, K. (2014). *Terrain Modelling. DTM generation Using UAVs*. Aalborg. Recuperado a partir de http://vbn.aau.dk/ws/files/174115618/SM3_report_Terrain_Modelling.pdf

Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Structure from motion (SfM) photogrammetry. *Geomorphological Techniques*, 119-130.

O'Neill-Dunne, J. O.-D., J. (2015). UAS Photogrammetric Point Clouds: A Substitute for LIDAR? *LIDAR Magazine*, 5(5). Recuperado a partir de http://www.lidarmag.com/PDF/LiDARMagazine_ONeilDunne-UASPointClouds_Vol5No5.pdf

Pix4D, P. (2015). Manual Pix4D Mapper. Recuperado a partir de www.pix4d.com

Rubio-Delgado, J., Schnabel, S., Gómez-Gutiérrez, Á., & Berenguer, F. (2014). Estimación de tasas de erosión históricas en dehesas utilizando raíces arbóreas expuestas y láser escáner terrestre. *Cuaternario y Geomorfología*, 28(3-4), 69-84.

SenseFly. (2015). Ebee Extended user manual. Recuperado a partir de <http://southerntelecom.com/emersonproductsupport/downloads/EM228.pdf>

Shawn Carr, Bruce Douglas, & Christopher Crosby. (2014). Terrestrial Laser Scanning (TLS) Field Camp Manual. UNAVCO. Recuperado a partir de http://kb.unavco.org/kb/assets/787/TLSFieldCamp_v1.3_0813.pdf

Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2015). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*. <https://doi.org/10.1177/0309133315615805>

Smith, M. W., & Vericat, D. (2015). From experimental plots to experimental landscapes: topography, erosion and deposition in sub-humid badlands from Structure-from-Motion photogrammetry: Multi-Scale Validation of Structure from Motion in a Badland Setting. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(12), 1656-1671. <https://doi.org/10.1002/esp.3747>

- Stumpf, A., Malet, J.-P., Allemand, P., Pierrot-Deseilligny, M., & Skupinski, G. (2015). Ground-based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion. *Geomorphology*, 231, 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.039>
- Ullman S. (1979). The interpretation of Structure from Motion. *Proceedings of the Royal Society B*, 203, 405–426. <https://doi.org/10.1098>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wheaton, J. M., Brasington, J., Darby, S. E., & Sear, D. A. (2009). Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. *Earth Surface Processes and Landforms*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/esp.1886>

APLICACIÓN DE LOS SIG EN LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE HONDURAS

Dania Valentina Mena Arzú¹, José Antonio Gutiérrez Gallego², Francisco Javier Jaraíz Cabanillas³ y José Manuel Pérez Pintor⁴

¹Universidad de Extremadura, Departamento de Expresión Gráfica, Avenida de las Letras, s/n, 10071 Cáceres, España. dmenaarz@alumnos.unex.es

²Universidad de Extremadura, Departamento de Expresión Gráfica, Avenida de las Letras, s/n, 10071 Cáceres, España. jagutier@unex.es

³Universidad de Extremadura, Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales, de las Lenguas y las Literaturas, Avenida de la Universidad, s/n, 10003 Cáceres, España. jfjaraiz@unex.es

⁴Universidad de Extremadura, Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Avenida de la Universidad, s/n, 10003 Cáceres, España. jmperpin@unex.es

RESUMEN

La clasificación y caracterización territorial es fundamental para comprender cómo se encuentra estructurado el espacio. Honduras está dividido política y administrativamente en 18 departamentos y 298 municipios, entre los cuales existen evidentes desequilibrios territoriales desde el punto de vista étnico. Por consiguiente, tomando como área de estudio los municipios del país y partiendo de un análisis geográfico y estadístico, el objetivo principal es observar el comportamiento de una serie de variables demográficas y socioeconómicas en relación con el porcentaje de población indígena y afrodescendiente que habita en cada uno de los municipios, siendo el objetivo final, aportar una herramienta de ayuda para los responsables políticos, que permita aplicar medidas que cohesionen territorialmente el país, eliminando desigualdades y corrigiendo posibles situaciones de marginación territorial.

Palabras Clave: clusterización, población indígena y afrodescendiente, análisis en componentes independientes, sistemas de información geográfica (SIG).

ABSTRACT

Classification and territorial characterization is fundamental to understand how the space is structured. Honduras is divided politically and administratively into 18 departments and 298 municipalities, among which there are obvious territorial imbalances from the ethnical point of view of the country. Therefore, taking the Honduran municipalities such as study area and on the basis of a geographical and statistical analysis, the main objective is to observe the behavior of a serial of demographic and socioeconomic variables in relation to the percentage of indigenous and afro descendant population who lives in each of the municipalities, being the final objective to provide a support tool for those responsible of important decision making in the country and can also be used to apply measures to the territorial cohesion of the country, eliminating inequalities and correcting potential situations of territorial exclusion.

Key Words: clustering, indigenous and afro descendant population, independent components analysis, geographical information system (GIS).

INTRODUCCIÓN

Honduras es un país de América ubicado en el centro-norte de América Central; actualmente cuenta con una población de 8,5 millones de habitantes y es el segundo país más poblado de la región. De acuerdo con el Banco Mundial (2016), el país muestra el más alto nivel de desigualdad económica de América Latina. Los desequilibrios que enfrenta se ven reflejados entre sus municipios y aún más entre sus propios habitantes dependiendo de su etnicidad.

Tomando en cuenta los datos del más reciente Censo de Población y Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras (INE) en el año 2013, la población hondureña se encuentra constituida predominantemente por población mestiza (91,4%), pero además existen 9 grupos étnicos (Lenca, Garífuna, Misquitos, Tolupán, Chortí, Pech, Tawahca, Negro Inglés y Nahuatl) que representan el 8,6% restante. Como se expresa en González y Vélez (2011), los habitantes indígenas y afrodescendientes del país (en adelante población étnica), han enfrentado situaciones de marginación social desde tiempos de la conquista hasta la actualidad, sufriendo los abusos que se cometen en contra de sus intereses y derechos como grupos culturalmente diferenciados del resto de la población hondureña, por lo que se espera que las desigualdades también estén influenciadas por el origen étnico de las personas. Es por esta razón que el estudio se centra principalmente en los municipios con mayores porcentajes de población étnica.

Históricamente, los municipios de Honduras han dependido del gobierno central para la toma de decisiones en cuanto a planificación e implementación de proyectos de inversión, dejando de lado situaciones que son verdaderamente importantes para el desarrollo local. En este sentido, los estudios de clasificación y caracterización permiten agrupar unidades territoriales en función de sus similitudes, partiendo de información estadística sobre indicadores demográficos y socioeconómicos que conllevan a analizar las peculiaridades de las diferentes agrupaciones obtenidas. A partir de este conocimiento se podrían proponer medidas nacionales de política regional que disminuyan las disparidades económicas y sociales entre los municipios, impulsando el crecimiento económico sostenible y centrándose principalmente en los menos desarrollados.

Actualmente no se cuenta con una clasificación de los municipios hondureños que facilite la intervención en el territorio de los decisores políticos, por lo que el objetivo general del estudio es intentar clasificarlos utilizando un método apoyado en la técnica de mapas auto-organizados (SOM por sus siglas en inglés), a través del software informático de libre uso R-Statistics, que se puede integrar fácilmente en un Sistema de Información Geográfica (en adelante, SIG). Como objetivos específicos se plantean: describir las características demográficas y socioeconómicas de los grupos obtenidos como resultado de la clasificación de los municipios y determinar cuáles son las variables que se relacionan directamente con el porcentaje de población étnica que habita en cada uno de ellos.

Antes de acometer el proceso de clasificación, y para evitar la redundancia de información y el ruido estadístico de las variables originales, se realizó un Análisis en Componentes Independientes (ICA por sus siglas en inglés). El ICA es una técnica computacional y estadística que se ha utilizado en el presente estudio y que se describirá en una sección posterior del documento.

A tenor de lo planteado anteriormente, se pretende determinar si existe una relación directa entre el porcentaje de población étnica y las demás variables del estudio.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Tradicionalmente una de las problemáticas más acentuada que se revela a la hora de abordar el estudio de un determinado territorio es la significativa brecha existente en los niveles de desarrollo que presentan los países a escala mundial, regional e incluso interregional en los ámbitos económico y social. Estas diferencias, en definitiva, muestran frecuentemente importantes desequilibrios territoriales que obstaculizan el alcanzar una equidad socioeconómica que se refleje en el bienestar de la población, como recogen los diferentes análisis que publican reconocidos organismos e instituciones (Organización para la Cooperación

y el Desarrollo Económicos (OCDE), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Banco Mundial, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), etc.).

En el caso particular, América Latina cuenta con una importante riqueza natural, histórico-patrimonial y destacados recursos endógenos (fuentes de energía, turismo, etc.), no obstante, es considerada en la actualidad como uno de los territorios con mayor desigualdad en el mundo (Domínguez, 2009; Lustig, 2015). Con el objeto de analizar dichos desequilibrios se han venido utilizando tradicionalmente diferentes tipos de métodos de análisis de tipo cuantitativo y descriptivo atendiendo al número de variables implicadas en el estudio.

En este sentido, es importante considerar la metodología a utilizar para el tratamiento de la información, ya que las posibilidades, la utilidad y la complejidad de los métodos de análisis aumentan a medida que lo hace el número de variables (Rodríguez, 1988).

En líneas generales, a medida que aumenta el número de variables utilizadas, se muestran más eficientes los métodos basados en técnicas multivariantes, como son el análisis factorial o el de componentes principales, que nos permiten reducir el volumen inicial de información, extrayendo los elementos más destacados y permitiendo la clasificación de las diferentes unidades territoriales (Cruces et al., 2010).

En los últimos años la separación de fuentes a ciegas “*blind source separation*” mediante el análisis en componentes independientes ha recibido mucha atención debido a sus aplicaciones en sistemas de reconocimiento de caracteres, telecomunicaciones, procesamiento de imágenes médicas, extracción de características, análisis de series temporales, etc. Esta técnica, relativamente de nueva invención, fue introducida por primera vez en la década de los 80 dentro del contexto de las redes neuronales. Pero, fue en la década de los 90 cuando se introdujeron nuevos algoritmos capaces de resolver problemas como el *cocktail-party* (una técnica que permite seleccionar de entre varias conversaciones la que más interesa, separándola de otros ruidos presentes). Desde entonces muchos artículos sobre este tópico han sido publicados en campos como las redes neuronales, el procesamiento de señales, estadística y teoría de la información (Hyvärinen et al., 2001).

El trabajo seminal en *Backward Sequential Selector* (BSS) fue escrito por Jutten y Herault (1991). En dicho trabajo los autores introdujeron un algoritmo adoptivo que era capaz de resolver el problema de la separación de fuentes independientes. Dicho algoritmo fue posteriormente desarrollado por Herault y Jutten (1994), Cichocki et al., (1994) y Karhunen y Joutsensalo (1995). Comon (1994), elaboró el concepto de análisis en componentes independientes y propuso funciones de coste útiles para la maximización de la independencia entre las fuentes.

Dada la necesidad de disminuir el grado de desigualdad, es preciso elaborar análisis económicos en ámbitos regionales que tienen como propósito intentar definir una clasificación de las unidades territoriales de acuerdo con patrones de comportamiento distintivos y, por consiguiente, analizar las fuentes de las diferencias encontradas en esos patrones de comportamiento (Alfaro et al., 2003). Para lograr esta finalidad los mismos autores manifiestan que en este sentido, las redes neuronales artificiales, y en particular, los mapas auto-organizados de Kohonen, constituyen una interesante herramienta alternativa a los métodos estadísticos más tradicionales como, por ejemplo, el análisis clúster.

Por su parte, Cuervo-Arango et al., (2006), en su informe sobre la tipología municipal de la Comunidad de Madrid, utiliza métodos jerárquicos para el análisis de conglomerados tanto por la adecuación de los datos como por la necesidad de controlar el proceso y porque se deseaba obtener una tipología coherente a varios niveles. No obstante, la utilización de la metodología de Mapas Auto-organizados se puede encontrar en diferentes ejemplos, como es el caso de López y Pastor (2013), quienes utilizan dicho método para ir un paso más allá de la clasificación socioeconómica e identificar los desequilibrios financieros en el territorio europeo; en concreto, a través de una comparativa entre las regiones de España y Alemania, respectivamente. Indican, además, la refutada trayectoria de este tipo de métodos de análisis en los ámbitos financieros y cómo posteriormente se han utilizado para la clasificación de diferentes territorios desde el punto de vista social y económico.

Autores como Martínez de Lejarza (2001), abordan el análisis socioeconómico del área metropolitana de Valencia utilizando esta metodología de los mapas auto-organizados. Similar es el caso de Rua et al., (2003), en el trabajo sobre la realidad socioeconómica de los municipios de la región gallega, en el que pretendían establecer si la favorable evolución socioeconómica gallega de la década de los noventa y principios del dos mil había sido uniforme en todos los municipios o si, por el contrario, se había concentrado en polos de desarrollo ya existentes, aumentando de esta manera las diferencias actuales.

En el caso de América del Sur, se ha realizado alguna aproximación a esta metodología dirigida a conocer las desigualdades intra-regionales en la región chilena de Valparaíso (Fuenzalida y Moreno 2009). También destaca el trabajo realizado por Ayaviri y Alarcón (2014), en el que se aplican técnicas multivariantes de análisis clúster para conformar conglomerados homogéneos de los municipios de Bolivia, con el objetivo de identificar aspectos demográficos y socioeconómicos comunes y evaluar la eficiencia municipal.

METODOLOGÍA

Son numerosas las técnicas de reducción de la dimensionalidad, las cuales se podrían agrupar en técnicas de selección y de extracción de características. En la selección de características se pretende la definición de un nuevo vector de características subconjunto del vector de características original. Entre éstas técnicas podemos destacar los algoritmos de búsqueda secuencial (BSS) o *Forward Sequential Selector (FSS)* y los algoritmos genéticos (GA, de sus siglas en inglés). Estas técnicas son de especial interés en problemas de clasificación supervisada, en los cuales se puede definir una figura de mérito (el error cometido por la red sobre el conjunto de prototipos) que hay que minimizar en función del nuevo vector de características definido. En la extracción de características se suele definir un nuevo vector de características cuyos componentes son funciones del vector de características original. Generalmente la redefinición del nuevo vector de características persigue la minimización de alguna característica como la correlación de los datos de entrada, la independencia, etc. Como ejemplos de estos métodos podemos destacar los métodos clásicos como el análisis en componentes principales (PCA, de sus siglas en inglés), descomposición en valores singulares (SVD, de sus siglas en inglés) o la descomposición en serie de Fourier o métodos más actuales como el ICA.

El ICA es una técnica computacional y estadística que se utiliza para extraer información oculta de un conjunto de variables. En dicho modelo se supone que estas variables son mezclas lineales o no lineales de otras variables ocultas. Tanto las variables ocultas como la mezcla de las mismas para obtener las variables originales son desconocidas. La única suposición que hace el modelo es que las variables ocultas son no gaussianas y mutuamente independientes. A estas variables ocultas no gaussianas y mutuamente independientes se les denominan “componentes independientes”. La extracción de estos componentes es el objetivo del análisis en componentes independientes, que junto con otras técnicas pueden englobarse en un campo más amplio, el de la separación de fuentes a ciegas. En este sentido, ICA puede considerarse una extensión del PCA, solo que ICA es una técnica mucho más potente. PCA busca decorrelar las variables utilizando estadísticos de segundo orden (matriz de covarianza), pero la independencia de las fuentes es una propiedad mucho más restrictiva que la decorrelación. Una forma de estimar los componentes independientes consiste en maximizar la no gaussianidad utilizando estadísticos de orden superior como la Kurtosis.

Atendiendo al carácter exploratorio de esta técnica, es necesario tomar conciencia de la posible no utilidad de los resultados obtenidos. Puede darse el caso de que la reducción de la dimensionalidad no dé un resultado fácilmente interpretable o no dé respuesta a las posibles preguntas de investigación formuladas inicialmente. Esta condición es extrapolable al proceso de clasificación, que también está basado en procesos no apriorísticos.

Para la realización del estudio, inicialmente se consideraron 27 variables (ver Tabla 1.), a las que se aplicó la estadística descriptiva con la finalidad de obtener las medidas de centralidad y calcular la dispersión de los datos. Asimismo, se aplicó la correlación de Spearman para evaluar la asociación en términos de aumento o disminución entre las variables empleadas en el estudio.

Una vez establecidas las correlaciones, fue necesario normalizar los datos para eliminar el sesgo estadístico, lo que resulta de mucha utilidad cuando se trata de comparar variables que han sido medidas en unidades distintas.

Debido a la cantidad de variables empleadas, los datos presentaron dificultad de interpretación al momento del análisis, no eran todos representativos o estaban altamente correlacionados (lo que suponía redundancia en la información). A tal efecto, y para evitar el ruido estadístico, se aplicó el ICA como una técnica de reducción y simplificación de datos y una manera de minimizar la dependencia estadística entre las nuevas componentes calculadas. Para poder estimar las componentes independientes a partir del modelo ICA, se ha utilizado el algoritmo FastICA (en el software R-statistics), que es uno de los más usados debido a su fácil ejecución y eficiencia computacional (Hyvärinen et al., 2001). La reducción de la dimensionalidad realizada mediante ICA ha permitido determinar 8 componentes independientes que explican el 81% de la varianza original de las 27 variables en estudio.

Tabla 1. Variables seleccionadas para el estudio

Demográficas	Socioeconómicas
1. Porcentaje de población étnica 2. Edad promedio 3. Porcentaje de población de 0-14 años 4. Porcentaje de población de 15-64 años 5. Porcentaje de población > 65 años 6. Habitantes del mismo municipio 7. Densidad demográfica 8. Mortalidad 9. Mortalidad infantil	1. Habitantes con estudios universitarios 2. Habitantes con servicio de internet 3. Habitantes con TV 4. Habitantes que no reciben agua por tubería 5. Habitantes que reciben agua privada 6. Habitantes con alumbrado público 7. Habitantes que cuentan con sanitario conectado a la red de alcantarillados 8. Índice de pobreza según Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) 9. Tasa de urbanización 10. NBI agua 11. NBI hacinamiento 12. Cobertura pre-básica 3-6 años 13. Cobertura básica 7-12 años 14. Cobertura secundaria 13-15 años 15. Tasa de desempleo abierta (TDA) 16. Tasa de participación (PEA) 17. Población en comercio 18. Población en Industria

Fuente: Elaboración propia.

La utilización de la técnica de clasificación SOM se considera especialmente adecuada cuando se trata de reconocer clústeres, a priori desconocidos, dentro de un conjunto de datos (Alfaro et al., 2003). En el presente estudio, este método permite agrupar a los municipios hondureños en función de sus elementos comunes, de forma tal que exista una delimitación de áreas lo más homogéneas posible que faculte el estudio de las características de cada grupo al que pertenecen. El procesamiento de la información se ha realizado a través del software informático de libre uso R-Statistics, donde están implementados los algoritmos para el cálculo del análisis cluster y de reducción de la dimensionalidad. La información generada a través de R-Statistics se puede integrar en un SIG, permitiendo un análisis espacial de los resultados alcanzados en el proceso.

En definitiva, y atendiendo al proceso descrito anteriormente, se ha obtenido una clasificación de los municipios hondureños en cuatro grandes grupos que permite describir las características demográficas y socioeconómicas de cada uno de ellos.

RESULTADOS

Una vez descrita la metodología utilizada durante la investigación, se procede a representar cartográficamente algunos de los indicadores que son objeto del estudio.

Tomando en consideración el porcentaje de población étnica del país, se ha realizado una clasificación de niveles del 1 al 3. La Figura 1, muestra que la mayor parte de los municipios (208 que representan el 69,8%), tiene menos del 5% de población étnica (Nivel 1) y están ubicados principalmente en la zona centro y sur del país; 55 municipios (18%) tienen entre 5,01-80% de población étnica (Nivel 2), ubicados en el noreste y sudoeste del país; y 35 municipios (12%) albergan más del 80,01% de población étnica (Nivel 3) y están ubicados en la zona noreste y suroeste del país.

A tenor de lo revelado en el histograma de frecuencias que aparece en la figura, se han determinado los intervalos de población étnica, ya que una clasificación por cuantiles o por rupturas naturales no reflejaría lo que realmente se pretende mostrar, es decir, la dicotomía entre los municipios que muestran un porcentaje muy bajo de población étnica y los que tienen porcentajes muy altos.

La variable población étnica presenta una media de 16,8% con mucha dispersión de los datos y no muestra correlaciones positivas importantes con otros indicadores. Sin embargo, es más común en zonas con necesidades básicas insatisfechas de hacinamiento y en zonas con población de 0-14 años.

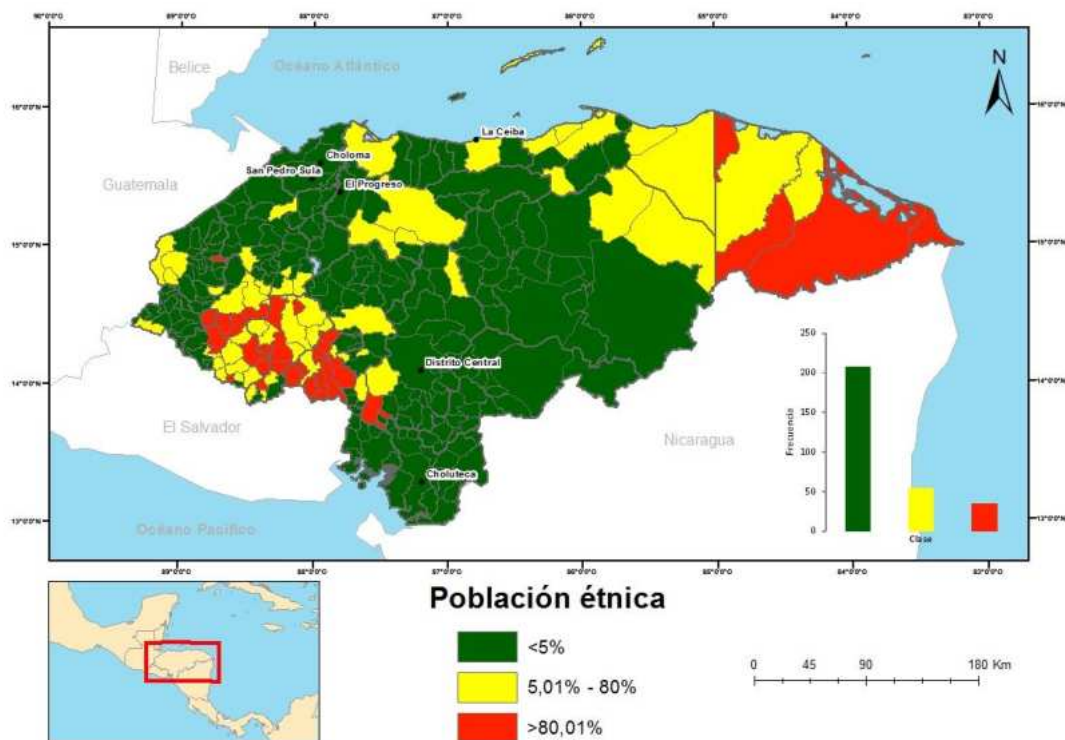


Figura 1. Mapa de población étnica de Honduras por municipio. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos del Censo de Población y Vivienda de Honduras de 2013, INE.

Una de las variables que arroja información más interesante relacionada con el porcentaje de población étnica, es la proporción de personas con estudios universitarios. Dicha variable se refiere al grado o año escolar más alto aprobado en el sistema de enseñanza formal. Se trata de un indicador que presenta una media de población del 1,3% en los municipios estudiados y un coeficiente de variación de 8%, manteniendo correlación positiva con la actividad económica, la población en edad productiva y con el acceso de la población a la tecnología.

Para reflejar el efecto del nivel de población étnica sobre la proporción de habitantes con estudios universitarios, se ha elaborado un diagrama de caja (Figura 2), que muestra que el Nivel 3 presenta una asimetría negativa en el que los datos se encuentran poco dispersos, lo que significa que a mayor porcentaje de población étnica en los municipios hondureños, menor es la

proporción de habitantes que tienen estudios universitarios. Además, se observa que la media del Nivel 3 (0,6%) es 2,5 veces menor que la media del Nivel 1 (1,4%). En el Nivel 1, se pueden observar valores que se encuentran alejados del resto de los datos, ya que están representados por municipios que tienen porcentajes muy altos de personas con estudios universitarios en comparación con el resto de la población.

La educación es una herramienta clave para romper los círculos viciosos de la exclusión social y propiciar el logro de mejores niveles de desarrollo humano (González y Vélez 2011, 17), en este contexto, dicha exclusión social ha provocado diferencias en el nivel de instrucción entre las personas étnicas y no étnicas.

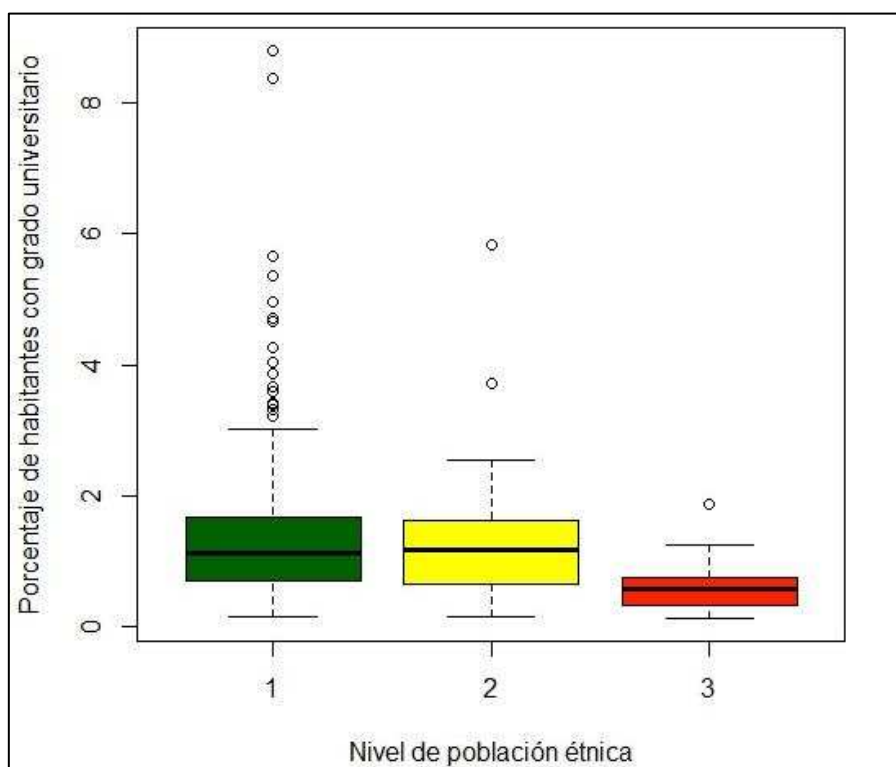


Figura 2. Nivel de población étnica frente a habitantes con estudios universitarios. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos del Censo de Población y Vivienda de Honduras de 2013, INE.

Una vez establecida la relación entre el nivel de población étnica y el porcentaje de habitantes con estudios universitarios, se procede a caracterizar cada uno de los grupos en que se ha dividido el territorio hondureño (ver Figura 3), detallando el porcentaje de población indígena y afrodescendiente con el que cuenta cada uno. Es necesario aclarar que la tipología resulta aproximada en cuanto que existe mucha variación entre los valores de las variables. Para obtener los promedios máximos y mínimos de los indicadores se ha utilizado la media simple como medida de centralidad.

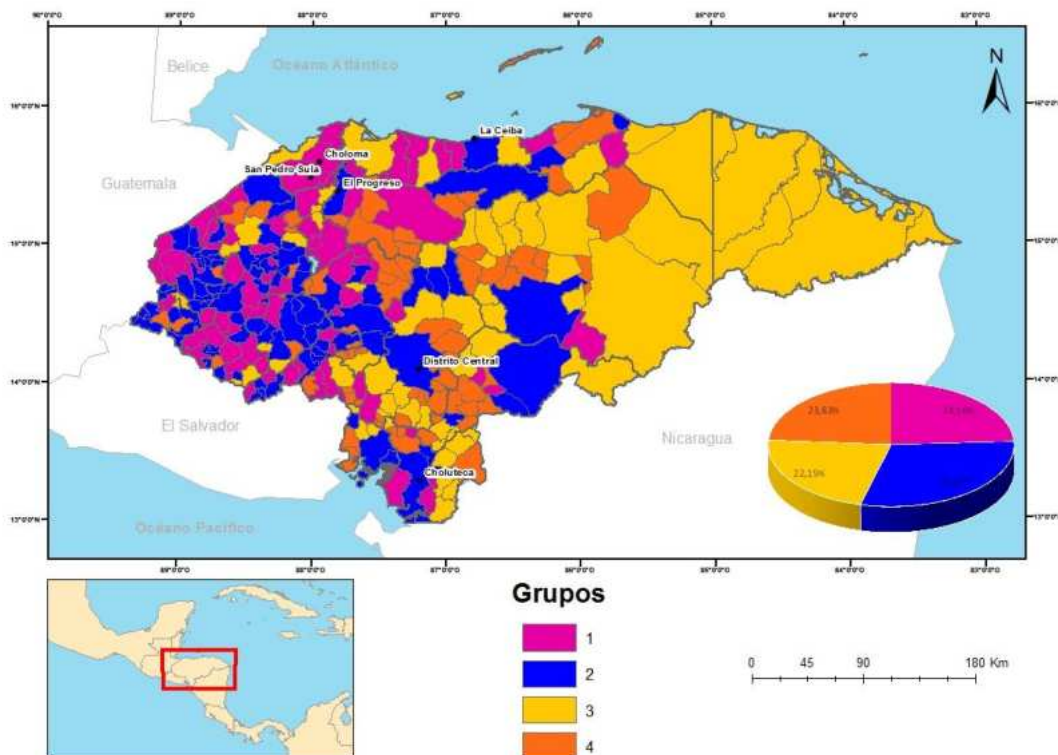


Figura 3. Mapa de clasificación de los municipios de Honduras. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos del Censo de Población y Vivienda de Honduras del año 2013, INE.

El Grupo 1 comprende 72 municipios que se encuentran ubicados principalmente en el oeste y noroeste del país. La actividad económica principal de este conglomerado gira en torno a la industria, especialmente en el departamento de Cortés en los municipios de Choloma, Villanueva, La Lima y San Pedro Sula; y en el municipio de Trinidad en el departamento de Santa Bárbara.

Las variables demográficas indican que la mayor parte de los habitantes de esta zona presentan la tasa promedio de edad más baja del país (24,5 años), una alta tasa de mortalidad infantil (11,7%) y una baja proporción de población mayor de 65 años (5,1%).

El porcentaje promedio de población étnica es de 26,4% y se encuentra por encima del promedio nacional (16,8%), además, pertenecen a este grupo los dos municipios que tienen los mayores porcentajes de población étnica a nivel nacional: San Francisco de Opalaca (98,6%) y Mapulaca (98,5%). Otra característica de estos municipios es el bajo porcentaje promedio de población con estudios universitarios (0,94%) y con acceso a internet (2,52%).

Por su parte, el Grupo 2 está conformado por 89 municipios que se encuentran principalmente en el oeste, suroeste y centro del país y agrupa a los municipios con mayor densidad demográfica y una proporción de habitantes más numerosa (más de 40.000 como promedio) y albergan al 17,3% de la población étnica. En este grupo se encuentra el Distrito Central, donde está ubicada la ciudad capital, que cuenta con 1.157.509 habitantes y que representa el 13,9% de la población total del país. Este municipio presenta una tasa de desempleo abierto de 89,8%, que es la más alta a nivel nacional. Prevalece el sector comercial, principalmente en el municipio de Nueva Arcadia, en el departamento de Copán, en el que el 23,8% de la población se dedica al comercio.

Los municipios que pertenecen a este grupo presentan el menor promedio en cuanto al índice de pobreza según NBI (60,5%). La mayor parte de la población recibe agua por tubería (88,5%) y, en comparación con el resto de los grupos, un porcentaje relativamente alto recibe agua privada (36%), por lo que la necesidad básica insatisfecha por agua es la más baja.

En cuanto al Grupo 3, comprende 66 municipios ubicados en el noreste, centro y sur del país, caracterizados por el mayor índice de pobreza según NBI (69%) y por la escasez en los suministros de agua, alumbrado público y vivienda.

El comercio tiene muy poca presencia en este grupo, destacando el municipio de Tocoa en el departamento de Colón con un 18,5%, siendo el octavo por importancia a nivel nacional. En cuanto al sector secundario, los municipios de Potrerillos y Pimienta representan dos importantes polos de desarrollo en esta zona, siendo segundo y tercero respectivamente a nivel nacional en esta actividad.

Este grupo está integrado por municipios con poca densidad demográfica, principalmente los ubicados en el departamento de Gracias a Dios, en el que cada uno de sus 6 municipios cuenta con una densidad demográfica muy reducida (menos de 18 hab./km²).

Cuenta con un porcentaje de población étnica de 15,8%, mayormente concentrado en los municipios de Ahuas (94,9%), Alubaren (92,7%) y San Marcos de la Sierra (92%).

Finalmente, el Grupo 4 está integrado por 71 municipios. Entre sus principales elementos comunes se encuentra un alto promedio de habitantes con estudios universitarios. Esta agrupación cuenta con la media más alta de población con acceso a internet (4,1%) y que tiene televisor en su vivienda (54,7%).

En cuanto a las variables demográficas, los valores medios más altos se presentan en el promedio de edad (26,5 años), tasa de mortalidad por cada 100.000 habitantes (490,7), población en edad de 15-64 años (57,9%) y población mayor de 65 años (6,47%). En cuanto a formación, tiene amplia cobertura básica (92,8%) y secundaria (66,3%).

Agrupación a los municipios con menor población. Cuenta con el 7,2% de población étnica que es la más baja del país. En este sentido, el 80% de los municipios que pertenecen a este grupo tiene menos del 5% de población étnica.

Para mostrar de una manera más clara la relación que existe entre los grupos obtenidos y el porcentaje de habitantes indígenas y afrodescendientes del país, se muestra la Figura 4, en la que se puede observar que los 4 grupos presentan distribuciones con asimetría positiva y con mucha dispersión de los datos, especialmente en el Grupo 1. Además, en los 4 gráficos la media está bastante alejada de la mediana, lo que se debe precisamente a lo que muestra la Figura 1: el 70% de los municipios tiene menos del 5% de población étnica y el 12% de los municipios tiene un porcentaje por encima del 80%. Para el resto de grupos, se presentan valores que se encuentran muy distantes del resto de los datos y están representados por valores atípicos.

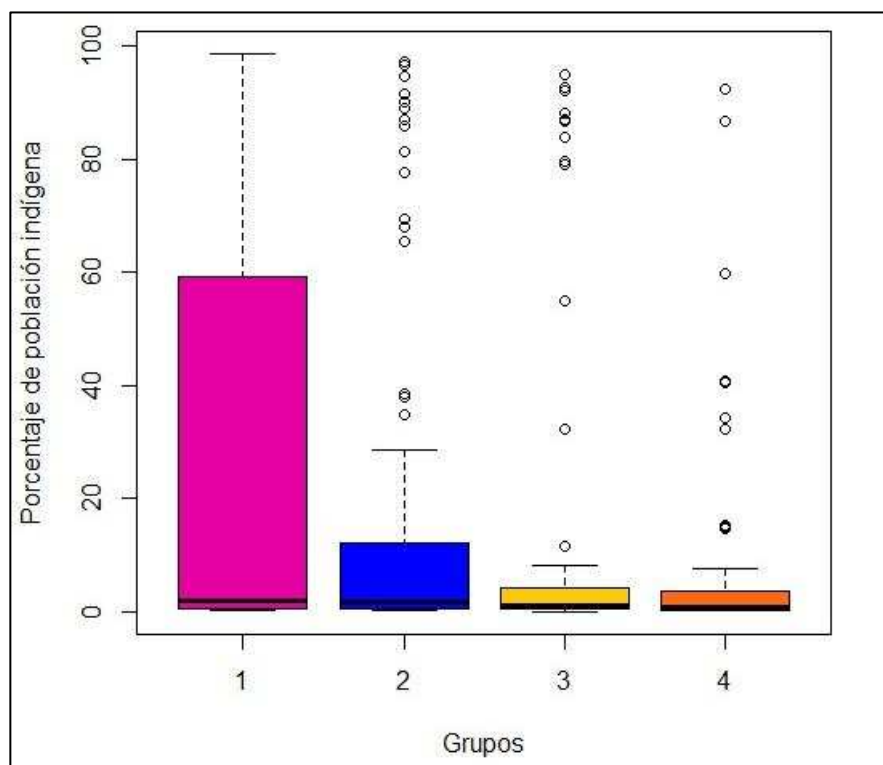


Figura 4. Grupos frente a porcentaje de población étnica. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos del Censo de Población y Vivienda de Honduras 2013, INE.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con la clasificación obtenida, el territorio hondureño se ha dividido en cuatro grupos, los cuales presentan características similares entre los elementos del mismo grupo pero diferentes del resto. Así, el Grupo 1 presenta el mayor porcentaje de población étnica y el menor porcentaje de personas con estudios universitarios y con acceso a servicios de internet, lo que pone de manifiesto lo planteado al inicio del documento: el nivel de educación de los hondureños está condicionado por su origen étnico. Respecto al Grupo 2, comprende los municipios que destacan fundamentalmente por su actividad comercial. En cuanto al Grupo 3, incluye a algunos de los municipios con mayor actividad económica y con menor densidad de población. Por último, decir que el Grupo 4 está integrado por municipios con un elevado porcentaje de personas con estudios universitarios y aquellos con la menor proporción de población étnica.

Desde el punto de vista metodológico, la elaboración del presente estudio, a pesar de las limitaciones que puedan tener los algoritmos utilizados, ha evidenciado su efectividad y ha permitido obtener una clasificación de los municipios de Honduras en la que cada agrupación resultante está conformada por unidades territoriales que comparten características similares. En este sentido, los resultados del análisis muestran que las variables seleccionadas representan de forma plausible la situación demográfica y socioeconómica de los municipios que pertenecen a los grupos en que está dividido el territorio hondureño.

El modelo utilizado en esta investigación, también ha permitido la obtención de cartografía temática de resultados muy visuales mediante un SIG y un análisis exploratorio de datos socioeconómicos y demográficos a través de instrumentos estadísticos. Todas las herramientas empleadas han permitido identificar las disparidades territoriales más significativas y las zonas más vulnerables y desfavorecidas del país, principalmente aquellas que cuentan con porcentajes más altos de población étnica (más de 80%).

Por consiguiente, a la luz de los resultados de la investigación, el territorio hondureño presenta inequidades provocadas principalmente por el origen étnico de las personas que, pese a su riqueza cultural e histórica, representan los segmentos más desfavorecidos de la nación. Para reducir estos desequilibrios se plantea aprovechar el patrimonio con el que cuentan estos grupos, los cuales deben gestionar su propio desarrollo considerando las particularidades históricas y culturales de cada uno, mediante la formación de potenciales agentes de desarrollo local, los cuales deben jugar un papel importante en la incorporación de sus necesidades en la agenda de temas de interés nacional y en la promoción del desarrollo sostenible de la comunidad mediante la gestión de proyectos susceptibles de llevar a cabo en conexión con agencias de cooperación nacional e internacional. En concordancia, el Estado debe reconocer la pluralidad cultural con la que cuenta y establecer políticas públicas específicas y participativas que ayuden a resaltar la importancia de la protección de ese patrimonio cultural. En la misma línea, se plantea la elaboración de un Censo que recoja información socioeconómica específica de los grupos étnicos y no solamente información demográfica, con el fin de realizar un análisis más profundo acerca de la situación por la que atraviesan dichos pueblos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, E., García, N. y Gámez, M. (2003): “Una clasificación socioeconómica de las regiones europeas mediante mapas de Kohonen”, Albacete: Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.

Ayaviri, N. y Alarcón, S. (2014): “Clasificación socioeconómica de los municipios de Bolivia”, *Perspectivas*, 33, pp. 29-55.

Banco Mundial. (2016): *Honduras: Panorama General*. <http://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview#1>, 4 de abril de 2016.

Cichocki, A., Unbehauen, R. y Rummert, E. (1994): “Robust learning algorithm for blind separation of signals”, *Electronics Letters* 30, 17, pp. 1386-1387.

- Comon, P. (1994): "Independent component analysis, A new concept?", *Signal processing*, 36, pp. 287-314.
- Cruces, E., García, J. y Sarrión, M. (2010): "Análisis estadístico de la realidad socioeconómica en Andalucía. Una aproximación a escala municipal". *Investigaciones regionales: Journal of Regional Research* 18: 107-140.
- Cuervo-Arango, F., Huete, T., Pedrazuela, C. y Sacristán R. (2006): "Tipología municipal de la Comunidad de Madrid 2006", Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid.
- Domínguez, R. (2009): "Desigualdad y bloqueo al desarrollo en América Latina", *Principios: estudios de economía política*, 13, pp. 5-32.
- Fuenzalida, M. y Moreno A. (2009): "Desigualdades intra-regionales en el desarrollo de la región de Valparaíso, Chile: una propuesta de análisis espacio-temporal", *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 9, pp. 1-27.
- González, J. M. y Vélez, J. (2011): *Ciudadanía juvenil étnica: una aproximación a la realidad de la juventud indígena y afrodescendiente en Honduras* (No. 7), Estudios sobre Desarrollo Humano. Tegucigalpa: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. http://www.hn.undp.org/content/dam/honduras/docs/publicaciones/HN_072011_Ciudadania_juvenil_etnica.pdf 15 de abril de 2016.
- Herault, J. y Jutten, C. (1994): *Réseaux neuronaux et traitement du signal*. Paris: Hermes.
- Hyvärinen, A., Karhunen, J. y Oja, E. (2001): *Independent Components Analysis*. New York, USA, Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Jutten, C. y Herault, J. (1991): "Blind separation of sources, part I: An adaptive algorithm based on neuromimetic architecture", *Signal processing*, 24, 1, pp. 1-10.
- Karhunen, J. y Joutsensalo J. (1995): "Generalization of principal component analysis, optimization problems and neural networks", *Neural Networks*, 8, 4, pp. 549-562.
- López, F. y Pastor, I. (2013): "Self-organizing maps as a tool to compare financial macroeconomic imbalances: The European, Spanish and German case", *The Spanish Review of Financial Economics*, 11, pp. 69-84.
- Lustig, N. (2015): "La mayor desigualdad del mundo", *Revista Finanzas & Desarrollo. Fondo Monetario Internacional*, 52, 3, pp. 14-17.
- Martínez de Lejarza, I. (2001): "Análisis Socio-económico del Área Metropolitana de Valencia por medio de un Mapa Auto-organizado de Kohonen", *Revista de Estudios Regionales*, 59, pp. 145-167.
- Rodríguez, V. (1988): "La medición de los desequilibrios territoriales en España", *Estudios Regionales* 21, pp. 97-120.
- Rua, A., Redondo, R. y Del Campo, C. (2003): "Distribución municipal de la realidad socioeconómica gallega", *Revista galega de economía*, 12, 2, pp. 243-262.

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SIG EN EL ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD VIAL DE LAS CARRETERAS EXTREMEÑAS.

Sergio Miguel¹, Elia Quirós² y Pedro Rodríguez^{3,4}

¹ Estudiante Universidad de Extremadura. smiguelg@alumnos.unex.es

² Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura. equiros@unex.es

³ Jefe de Servicio de Infraestructuras Viarias. Junta de Extremadura pedro.rodriguez@gobex.es

⁴ Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura pedrorodriguez@unex.es

RESUMEN

El análisis de los accidentes de tráfico no solo tiene interés desde el punto de vista técnico de la ingeniería, sino que este interés se extiende al nivel completo de la sociedad. Si bien es verdad que existen diversos estudios técnicos en las principales administraciones, éstos suelen realizarse solo a nivel estadístico. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar posibles aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis de la seguridad vial. Para ello, nos centraremos en las carreteras de la red extremeña con mayor siniestralidad y georreferenciaremos los accidentes con víctimas producidos entre los años 2010 y 2015. Además se han relacionado los accidentes con víctimas con otro tipo de variables demostrando así las amplias posibilidades de análisis que las tecnologías SIG ofrecen en el ámbito de la seguridad vial. Con este trabajo se pone de manifiesto que una georreferenciación exacta de la red viaria, de todos sus elementos clave y en este caso, de los accidentes que en ella se producen, ayudaría en gran medida a la mejora de la seguridad vial en nuestra región.

Palabras Clave: Accidente con víctimas, Sistemas de Información Geográfica, intensidad media diaria de tráfico, seguridad vial.

ABSTRACT

The analysis of traffic accidents is not only of interest from the technical point of view of engineering, but also this interest extends to whole society. Although it is true that there are several technical studies in the main administrations, they are usually performed only from a statistical point of view. This paper aims to study possible applications of geographical information systems (GIS) analysis to road safety. To do this, we will focus on the roads of Extremadura network with more accidents, and accidents with victims produced between 2010 and 2015 will be georeferenced. In addition, accidents have been related to other variables in order to demonstrate the wide possibilities of analysis that GIS technologies offer to the field of road safety. This work shows that an exact location of the road network, in all its key elements and in this case of accidents that occur in them, would help greatly to improving traffic safety in our region.

Key Words: Accident with victims, Geographic Information Systems, average daily traffic, traffic safety.

INTRODUCCIÓN

La carretera, entendida en todo su conjunto y desde el punto de vista de la ingeniería civil, presenta tres etapas diferenciadas tales como son el proyecto, la construcción y por último la conservación y explotación de la misma. Si bien es cierto que suele ser lo más común el prestar el mayor grado de atención a las dos primeras etapas, no podemos olvidarnos de la última, ya que es quizá la que más se extienda en el tiempo y de ella dependerá, en gran medida, el que alcance la vida útil o de servicio para la que ha sido proyectada.

Toda carretera, y en general la mayoría de las obras de ingeniería civil, ocupa un lugar en el espacio, su recorrido conecta su inicio y su final y, a la vez, atraviesa e interactúa con otros elementos y otros agentes. Es por ello que podemos y debemos entender la carretera como un elemento en el espacio y que, por lo tanto, tiene una serie de condiciones geográficas a lo largo de su recorrido.

Siendo muy numerosos los elementos que forman parte de la carretera, entendida ésta en su totalidad, el elemento humano es quizá el más importante de la misma, no solo como usuario final de la carretera sino como parte integrante de la misma. Es por ello que una de las principales gestiones de la conservación y explotación de las carreteras debe ser el consolidar, fomentar y fortalecer la seguridad en la misma. Bien es cierto que la seguridad en carretera, seguridad vial, debe tenerse en cuenta desde el comienzo del proyecto de la carretera, pero no es hasta su puesta en servicio (y por lo tanto tarea perteneciente a la conservación) cuando verdaderamente se pueden comprobar si las medidas de seguridad establecidas en proyecto son efectivas o no.

Según las estadísticas de la Dirección General de Tráfico, los accidentes en las carreteras interurbanas provocaron el fallecimiento de 1.126 personas en el año 2015 en España. Si bien es cierto que la cifra baja con respecto al año anterior, y lo hace por duodécimo año consecutivo, la mortalidad por accidentes con vehículos a motor sigue siendo una de las cinco primeras causas de mortalidad por causas externas en España. Estos datos reflejan que, aunque año tras año se consigue que el número de fallecidos por accidentes en las carreteras españolas se reduzca (Figura 1), se debe seguir trabajando para mejorar la seguridad vial.

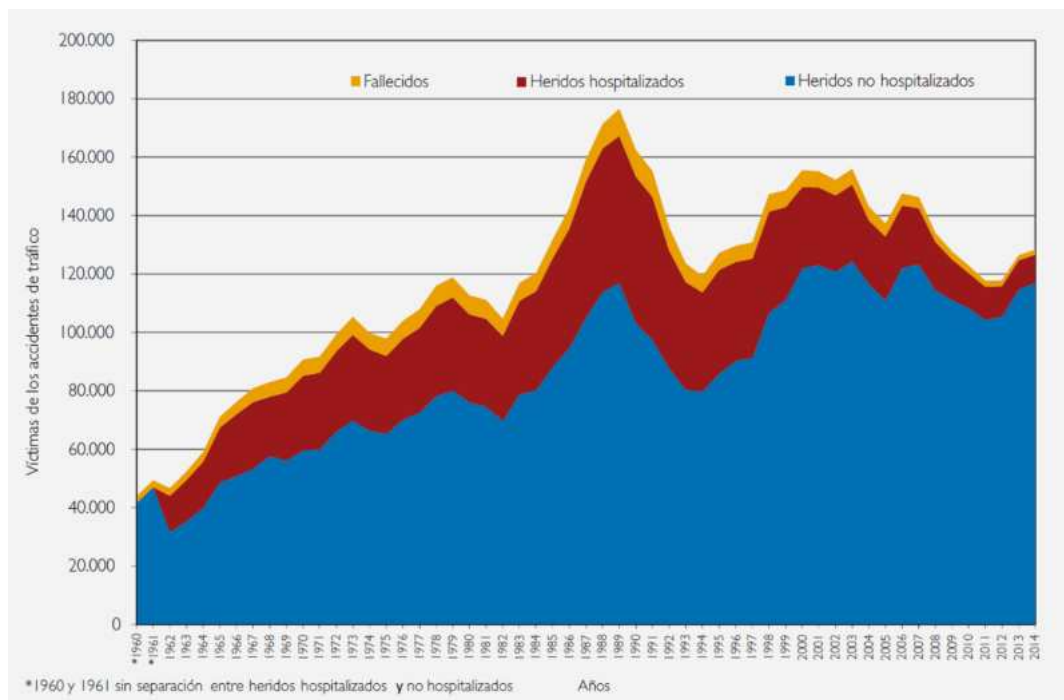


Figura 1. Evolución de las víctimas de accidentes de tráfico. España, 1960-2014 (Fuente: Dirección General de Tráfico)

A pesar de que en sus comienzos los SIG se desarrollaron en base a tareas relacionadas con la geografía, entendida ésta como materia y ciencia (de ahí su denominación tradicional de

geográficos) no se tardó mucho en investigar y apostar por estos sistemas en otras ramas de conocimiento, sobre todo de índole medioambiental y de ordenación urbanística.

Dado su carácter multidisciplinar los SIG son un entorno idóneo, en cuanto a capacidades se refiere, a la hora de gestionar información que pueda estar relacionada con un proyecto de ingeniería civil. Se llega así a un punto en el que los SIG pueden entenderse como herramientas incluso capaces de calcular los recursos hídricos de una cuenca: Samper et al. (2005), Zambrano Nájera (2015), trabajos relacionados con la calidad de las aguas: Sámano Celorio (2011), otros aplicados a la gestión del territorio: Peña Lopis (2006), para calcular ubicaciones óptimas de instalaciones solares o eólicas: Lucano y Fuentes (2010), Castell Marcos y Alemany Gómez (2013) y algunos más concretamente en infraestructuras viarias: Altamirano Moran y Espinoza Ramirez (2013).

La siniestralidad y la seguridad vial

El análisis de los accidentes de tráfico no solo tiene interés desde el punto de vista técnico de la ingeniería, sino que este interés se extiende al nivel completo de la sociedad. Cada año son numerosas las campañas encaminadas a reducir las cifras de siniestralidad en las carreteras españolas, ya no solo desde los organismos encargados de la seguridad vial, como puede ser la Dirección General de Tráfico, sino también desde otras muchas instituciones como asociaciones de víctimas de accidentes de tráfico, mutuas de seguros, escuelas de educación vial, etc. Desde estas campañas se persigue el concienciar a la sociedad de la importancia de respetar las normas de circulación, el entender y conocer los sistemas de protección y seguridad vial y, sobre todo, el plasmar que la seguridad vial depende del trinomio carretera+vehículos+conductores y que hay que prestar atención a cada uno de estos factores, en particular, en los estudios de siniestralidad y seguridad vial.

Son numerosos los estudios, publicaciones, etc. que cada año analizan las cifras de la siniestralidad: tendencia, estudios pormenorizados de diversos factores e incluso propuestas encaminadas a tratar de mejorar estas cifras. Existen incluso documentos y estudios (tabla 1) que analizan el coste, en términos económicos, de estos accidentes Pérez Martínez et al. (2015)

Tabla 1. Valores oficiales de la vida y de la víctima no mortal grave y leve en varios países (miles de \$ PPA 2009) (fuente: Pérez Martínez et al. (2015)).

País	Valor de una vida	Valor de una víctima no mortal	
		Grave	Leve
Alemania	1.560	107	5
Francia	1.380	138	20
Países Bajos	3.010	443	66
Suecia	2.540	431	25
Reino Unido	2.670	387	23
Noruega	3.510	552	48
España	1.827	261	7

Es lógico entender que, desde el punto de vista de la ingeniería civil, el estudio particular de la siniestralidad y las mejoras en la seguridad vial se centren en la carretera, siendo la totalidad de su infraestructura y elementos que la componen competencia de esta profesión (Ley 33/1992, de 9 de Diciembre). Son los ingenieros civiles, por lo tanto, los encargados del estudio, implantación y mejora de aquellos métodos, elementos o sistemas, encaminados a establecer o mejorar las condiciones de seguridad que se consideren adecuadas en estas vías de comunicación. Existen así, dentro de las administraciones públicas y de las empresas dedicadas a la ingeniería, departamentos específicos encargados de los aspectos propios de la seguridad vial.

Los SIG y la siniestralidad desde el punto de vista de la ingeniería

Es cierto que existen diversos estudios técnicos en las principales administraciones y sus secciones encargadas de la gestión de las infraestructuras viales: Jiménez Espada et al. (2015), pero estos estudios suelen partir de datos estadísticos sobre la siniestralidad para acometer después las distintas soluciones que puedan plantearse y hacer frente a los accidentes de tráfico. Sin embargo, son pocos, aunque cada vez más frecuentes, los estudios dedicados a la siniestralidad y la seguridad vial mediante Sistemas de Información Geográfica ya sea a nivel nacional como internacional: Varela García et al. (2007), Hinojosa Reyes et al. (2012) y Gómez Barroso et al. (2015).

Aunque algunas administraciones están implantando entornos basados en las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) para la gestión de las carreteras y sus tareas anexas (gvSIG Roads, solución implementada en la red de carreteras de la Diputación de Valencia; o la Agenda de Carreteras del Servicio de Infraestructuras Viarias de la Junta de Extremadura), son muy escasas las herramientas que pueden utilizarse en la actualidad para gestionar los estudios de siniestralidad y acometer las acciones de seguridad vial desde entornos SIG.

El presente trabajo tiene como objetivo principal estudiar posibles aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis de la seguridad vial. Para ello, nos centraremos en las carreteras de la red extremeña con mayor siniestralidad, relacionando los accidentes con víctimas tanto con variables de relación directa, como es la intensidad media diaria de tráfico, como con otras con menor vinculación a priori tales como la población o incluso variables físicas del terreno.

MATERIAL

Los datos de siniestralidad usados para la realización del presente trabajo provienen del Servicio de Infraestructuras Viarias de la Consejería de Economía e Infraestructuras de la Junta de Extremadura. Los datos, son tomados “in-situ” por las autoridades en una ficha tipo (figura 2) en la que aparece toda la información posible relativa al accidente y que pueda ser usada después por los distintos profesionales como peritos, analistas, otros agentes, etc. Posteriormente, la información del siniestro se introduce en una base de datos digital.

De este modo, el punto de partida del presente trabajo son los datos de siniestralidad en las carreteras administradas por la comunidad autónoma de Extremadura en el intervalo 2005-2015 en el cual existen cerca de 12.000 registros.

ANEXO I. FORMULARIO DE ACCIDENTES DE TRÁFICO CON VÍCTIMAS.

FORMULARIO DE ACCIDENTES CON VÍCTIMAS

Nº EXPEDIENTE POLICIAL: _____ 2. Accidente: _____

1. Ubicación Temporal **2. Localización**

HORA Y FECHA DEL ACCIDENTE: _____ **ZONA:** ☐ CARRETERA ☐ AUTOPISTA O AUTOVÍA URBANA ☐ TRAVESÍA ☐ CALLE

MUNICIPIO: _____ **CARRETERA:** _____

CÓDIGO DE POBLACIÓN: _____ **SIGLAS Y N°:** _____

CÓDIGO CALLE: _____ **pk:** _____ **hm:** _____

CALLE: _____ **Nº:** _____ **SENTIDO ACCIDENTE (↓ km):** ☐ ASCENDENTE ☐ DESCENDENTE ☐ MIXTO

TITULARIDAD: ☐ ESTATAL ☐ AUTONÓMICA ☐ PROVINCIAL/CABILDO/CONSELL ☐ OTRA MUNICIPAL

COORDENADAS UTM DEL PRIMER PUNTO DE CONFLICTO: _____

LONGITUD (x): _____ **LATITUD (y):** _____

TIPO DE VÍA: ☐ AUTOPISTA DE PEAJE ☐ CALLE ☐ AUTOPISTA LIBRE ☐ CAMINO VECINAL ☐ AUTOVÍA ☐ RECINTO DELIMITADO ☐ VÍA PARA AUTOMÓVILES ☐ VÍA CICLISTA ☐ CARRETERA CONVENCIONAL DE DOBLE CALZADA ☐ SENDA CICLABLE ☐ CARRETERA CONVENCIONAL DE CALZADA ÚNICA ☐ OTRA ☐ VÍA DE SERVICIO ☐ RAMAL DE ENLACE

INFORMACIÓN SOBRE EL NUDO: ☐ EN NUDO INCLUYENDO SU ZONA DE INFLUENCIA (>20m / <200m) ☐ FUERA DE NUDO O DE SU ZONA DE INFLUENCIA (>20m / <200m)

INTERSECCIÓN: ☐ EN X O Y ☐ EN Y ☐ EN ESTRELLA ☐ GLOBETA ☐ GLOBETA PARTIDA ☐ MINIGLOBETA ☐ GLOBETA DOBLE ☐ PASO A NIVEL CON BARRERA ☐ PASO A NIVEL SIN BARRERA

ENLACE: ☐ ENLACE CON CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD PARALELOS AL TRONCO ☐ ENLACE SIN CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD PARALELOS AL TRONCO ☐ BIFURCACIÓN O CONVERGENCIA

NOMBRE DE C/ O CARRETERA QUE CRUZA: _____ **CÓDIGO:** _____

REGULACIÓN DE PRIORIDAD: ☐ SÓLO NORMA GENERAL ☐ PASO PARA PEATONES NO ELEVADO ☐ AGENTE PERSONA AUTORIZADA ☐ PASO PARA PEATONES SOBRE ELEVADO ☐ SEMAFORO ☐ MARCA VIAL DE PASO PARA CICLISTAS ☐ SEÑAL VERTICAL de "STOP" ☐ SEÑAL CIRCUNSTANCIAL ☐ SEÑAL VERTICAL de "Ceda el paso" ☐ OTRA SEÑAL ☐ SEÑAL HORIZONTAL de "STOP" ☐ SEÑAL HORIZONTAL de "Ceda el paso" ☐ SÓLO MARCAS VIALES SIN INSCRIPCIONES

3. Nº Implicados: FALLECIDOS 24h: _____ HERIDOS INGRESO >24h: _____ HERIDOS ASISTENCIA SANITARIA <24h: _____ VÍCTIMAS ILESOS: _____ VEHÍCULOS: _____ CONDUCTORES: _____ PASAJEROS: _____ PEATONES: _____

4. Tipo y Circunstancias

TIPO DE ACCIDENTE: APARTADO A) ☐ 1) SALIDA DE VÍANO (Barrera APARTADO B) ☐ 2) SALIDA DE VÍA SI ☐ 3) SALIDA DE LA VÍA POR LA DERECHA CON APARTADO B) ☐ 4) SALIDA DE LA VÍA POR LA IZQUIERDA CON APARTADO B) APARTADO B) ☐ COLISIÓN FRONTAL ☐ ATROPELLO A PERSONA ☐ COLISIÓN FRONTAL LATERAL ☐ ATROPELLO A ANIMAL ☐ COLISIÓN LATERAL ☐ VUELCO ☐ ALCANCE ☐ CAÍDA ☐ COLISIÓN MÚLTIPLE ☐ DESPEÑAMIENTO ☐ CHOQUE CONTRA OBSTÁCULO O ELEMENTO DE LA VÍA ☐ SÓLO SALIDA DE LA VÍA ☐ OTRO

CONDICIONES EN EL MOMENTO DEL ACCIDENTE: **NIVEL DE CIRCULACIÓN:** ☐ BLANCO ☐ ROJO ☐ VERDE ☐ NEGRO ☐ AMARILLO ☐ SE DESCONOCE

ILUMINACIÓN: ☐ LUZ DEL DÍA NATURAL, SOLAR ☐ AMANECER O ATARDECER, SIN LUZ ARTIFICIAL ☐ AMANECER O ATARDECER, CON LUZ ARTIFICIAL ☐ SIN LUZ NATURAL Y CON ILLUMINACIÓN ARTIFICIAL ENCENDIDA DE LA VÍA ☐ SIN LUZ NATURAL Y CON ILLUMINACIÓN ARTIFICIAL NO ENCENDIDA DE LA VÍA ☐ SIN LUZ NATURAL NI ARTIFICIAL

SUPERFICIE DEL FIRME: ☐ SECO Y LIMPIO ☐ CON BARRO O GRAYILLA SUelta ☐ MOJADO ☐ MUY ENCHARCADO O INUNDADO ☐ CON HIELO ☐ CON NIEVE ☐ CON ACEITE ☐ OTRA

ESTADO METEOROLÓGICO: ☐ DESPEJADO ☐ NUBLADO ☐ LUEVA DEBIL ☐ LUEVA FUERTE ☐ GRANIZANDO ☐ NEVANDO ☐ NIEBLA ☐ NIEBLA LIGERA ☐ NIEBLA INTENSA ☐ VIENTO FUERTE

VISIBILIDAD RESTRINGIDA POR: ☐ BUENA VISIBILIDAD ☐ EDIFICIOS ☐ INSTALACIONES O ELEMENTOS DE LA VÍA ☐ CONFIGURACIÓN DEL TERRENO ☐ FACTORES ATMOSFÉRICOS ☐ DESLUMBRAMIENTO POR SOL ☐ DESLUMBRAMIENTO POR ALUMBRADO ARTIFICIAL ☐ DESLUMBRAMIENTO POR FAROS DE OTRO VEHÍCULO ☐ UN VEHÍCULO (PARADO, EN MOVIMIENTO O APARCADO) ☐ OBRAS ☐ CONTENEDORES ☐ VEGETACIÓN O ARBOLES ☐ ELEMENTOS DECORATIVOS ☐ OTROS OBJETOS EN LA VÍA ☐ PANELES Y PUBLICIDAD ☐ ELEMENTOS DEL VEHÍCULO (LUNAS) ☐ OTRAS RESTRICCIONES

SI INTERVIENE ANIMAL, INDICAR TIPO: _____ **Catalago en manual de contenidos**

5. Características Vía

CARACTERÍSTICA: ☐ ZONA PERIURBANA ☐ CIRCUNVALACIÓN ☐ CALLE RESIDENCIAL ☐ ZONA PEATONAL ☐ ZONA A 30 ☐ OTRA DE ESPECIAL REGULACIÓN NINGUNA DE LAS ANTERIORES

LÍMITE DE VELOCIDAD: ☐ LIMITACIÓN GENERAL ☐ SEÑALIZACIÓN ESPECÍFICA **VELOCIDAD:** _____ (km/h)

ANCHURA DEL CARRIL: ☐ MENOS DE 3,25 m ☐ ENTRE 3,25 y 3,75 m ☐ MÁS DE 3,75 m

ACERA: ☐ NO ☐ IMPRACTICABLE ☐ SI, NO ELEVADA ☐ ELEVADA **ANCHURA:** _____

SENTIDOS DE LA VÍA: ☐ DOBLE SENTIDO ☐ SENTIDO ÚNICO

NÚMERO DE CALZADAS: ☐ CALZADA ÚNICA ☐ CALZADA DOBLE ☐ MÁS DE DOS

Nº CARRILES EN CALZADA: _____ **SENTIDO ASCENDENTE:** _____ **SENTIDO DESCENDENTE:** _____

ARCEN: ☐ INEXISTENTE ☐ MENOR DE 1,5 m ☐ DE 1,5 m a 2,49 m ☐ DE 2,50 m MÁS

ELEMENTOS DE BALIZAMIENTO: ☐ PANELES DIRECCIONALES ☐ HITOS DE ARISTA ☐ CAPTAFAROS

ELEMENTOS DE SEPARACIÓN DE SENTIDOS: ☐ SÓLO LÍNEA LONGITUDINAL DE SEPARACIÓN ☐ ZONA PEATONAL O AJARINADA ☐ CEBADO ☐ OTRO ☐ MEDIANA ☐ NINGUNO

BARRERA DE SEGURIDAD: ☐ NO ☐ METALICA ☐ BOMBERO ☐ OTRO ☐ PROTECCIÓN MOTORISTA

ELEMENTOS DEL TRAMO: ☐ PUENTE, VIADUCTO O PASO SUPERIOR ☐ TUNEL ☐ PASO INTERIOR ☐ ESTRECHAMIENTO DE SECCIÓN ☐ SEÑALES REDUCTORES DE VELOCIDAD ☐ BORDO ☐ APARTADERO ☐ NINGUNO

TRAZADO EN PLANTA: ☐ RECTA ☐ CURVA SEÑALIZADA ☐ CURVA SIN SEÑALIZAR ☐ SE DESCONOCE

TRAZADO EN ALZADO: ☐ LLANO ☐ RAMPA > 4% ☐ PENDIENTE > 4% ☐ CAMBIO BRUSCO DE RAMPAS ☐ SE DESCONOCE

MARCAS VIALES: ☐ INEXISTENTES O BORRADAS ☐ SÓLO SEPARACIÓN DE CARRILES ☐ SEPARACIÓN DE CARRILES Y BORDE DE CALZADA ☐ SÓLO BORDE DE CALZADA

DELIMITACIÓN DE LA CALZADA: ☐ BORDILLO ☐ BORDILLOS O VALLAS DE PROTECCIÓN ☐ SETOS ☐ MARCAS VIALES ☐ BARRERA DE SEGURIDAD ☐ ISLETA O REFUGIO ☐ ZONA PEATONAL AJARINADA ☐ OTRA ☐ SIN DELIMITAR

CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES: ☐ NINGUNA ☐ CONOSELEM. BALIZA MÓVILES ☐ ZANJA O SURCO ☐ TAPA DE REGISTRO DEFECTUOSA ☐ OBRAS ☐ OBSTÁCULO EN CALZADA ☐ DESPRENDIMIENTOS ☐ ESCALÓN ☐ FIRME CON BACHES ☐ FIRME DETERIORADO ☐ OTRAS

NORMAS DE CUMPLIMENTACIÓN: Los campos con ☐ permiten marcar una única alternativa. Los campos con ☐ permiten marcar distintas alternativas. Marcar ☐ indica posible influencia del factor en el accidente.

En un accidente en intersección la vía principal es la que tiene prioridad.
 Los variables en VERDE, se cumplimentan SÓLO cuando el accidente ocurre en vías urbanas o calles.
 Los variables en AZUL, se cumplimentan SÓLO en aquellos accidentes que se producen en zona interurbana o urbana cuando la vía no tiene características restrictivas de una calle.

Figura 2. Ficha tipo - Formulario de Accidentes de Tráfico con Víctimas (Fuente: Ministerio del Interior (2014))

En primer lugar, conviene destacar que entre los datos proporcionados se incluían tanto los siniestros con víctimas como sin ellas. Para que un accidente genere una víctima será suficiente con que la persona, o personas, en cuestión tengan que recibir después del mismo algún tipo de

tratamiento, ya sea sanitario o psicológico, público o privado. Se consideran también víctimas en un accidente las mortales por causas directas del mismo.

Atendiendo a este criterio, se puede observar en la tabla 2 la proporción de accidentes con víctimas pertenecientes al periodo 2005-2015. A pesar de que existe una tendencia clara a la disminución, en algunos años ha sido considerablemente elevado.

Tabla 2. Datos siniestralidad en las carreteras extremeñas. Periodo 2005-2015

AÑO	Nº Accidentes totales	Accidentes con víctimas	Porcentaje
2005	669	307	46%
2006	1.039	477	46%
2007	1.151	579	50%
2008	1.122	494	44%
2009	1.146	433	38%
2010	1.178	442	38%
2011	1.076	385	36%
2012	1.043	368	35%
2013	1.012	368	36%
2014	1.068	337	32%
2015	1.152	306	27%
Promedio	1.060	409	39%

Atendiendo al tipo de accidente y tal y como se puede apreciar en la figura 3, los más comunes son salidas de vía, atropellos de animales y colisiones en marcha.

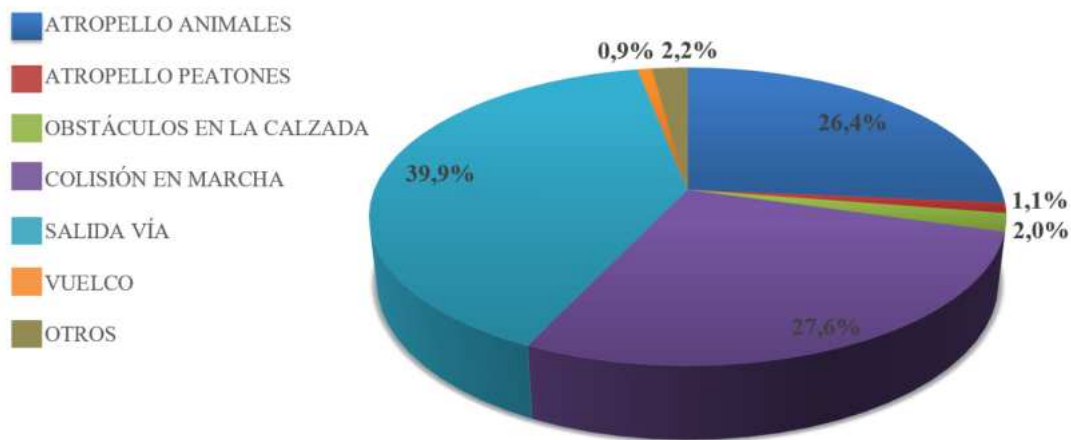


Figura 3. Clasificación de accidentes por tipo. Periodo 2005-2015

Uniando ambos conceptos, se observa en la figura 4 que a pesar de que el tipo de accidente más habitual es el de atropello de animales, no es éste el que mayor número de víctimas produzca. También es evidente que el tipo de accidente de atropello de peatones sea el que más víctimas provoque, pero siendo su cantidad tan pequeña, no han de ser considerados como relevantes.

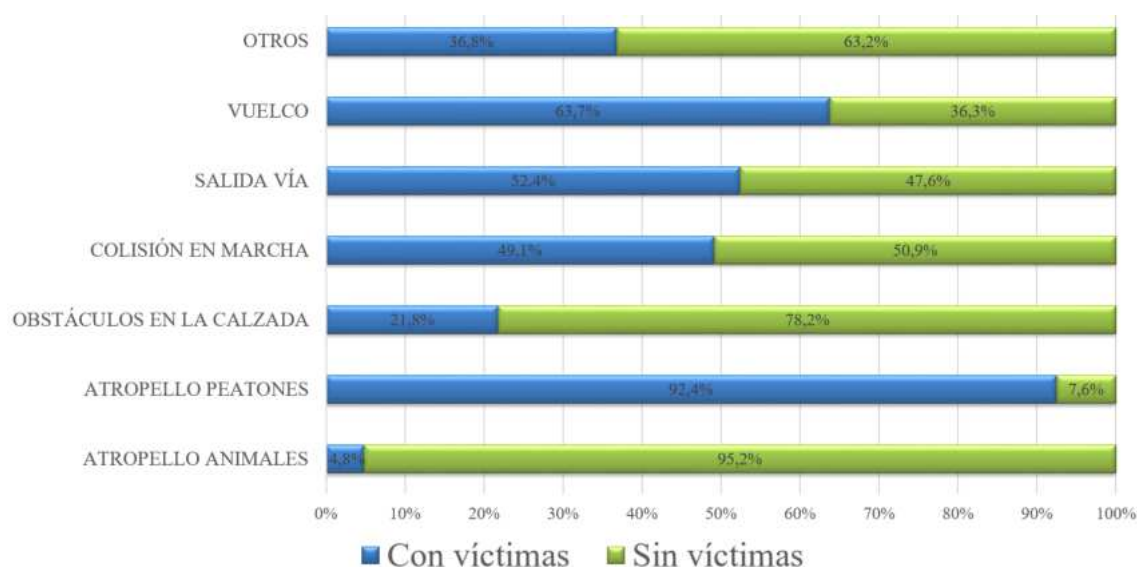


Figura 4. Accidentes por tipo con y sin víctimas. Periodo 2005-2015

En este trabajo sólo se han tenido en cuenta los datos relativos a los accidentes con víctimas en el periodo de estudio ya que la relevancia de este tipo de accidentes requiere estudios pormenorizados.

Selección de los tramos de carretera a estudiar

Consultando el Catálogo de Carreteras de titularidad de la Junta de Extremadura vigente desde el año 2008 en el que se recogen la clave, denominación, categoría y longitud de todas las carreteras extremeñas se puede observar que en ninguna de las capas de carreteras en formato digital, mapas u otras fuentes de datos extraídas de las principales IDEs consultadas, los datos de estas concuerden con los del catálogo, encontrándonos con diferencias significativas en cuanto a longitud e incluso trazado de las carreteras. Al mismo tiempo, no existen, para la Comunidad Autónoma de Extremadura, datos georreferenciados de forma correcta en cuanto al kilometraje propio de cada carretera, es decir, los PPKK (Puntos kilométricos). En los datos de las capas de representación de las IDEs no hacen referencia a la realidad de la carretera ya que en muchos casos, la mayoría, la distancia real entre dos PPKK consecutivos no es de exactamente 1.000 metros, cosa que si ocurre en las capas consultadas por lo que todo parece indicar que el kilometraje que en estas aparece se ha conseguido dividiendo el eje de la carretera en partes iguales de 1.000 metros, operación que hace que existan desfases con la realidad que pueden superar en algunos casos los 300 metros de diferencia (figura 5).

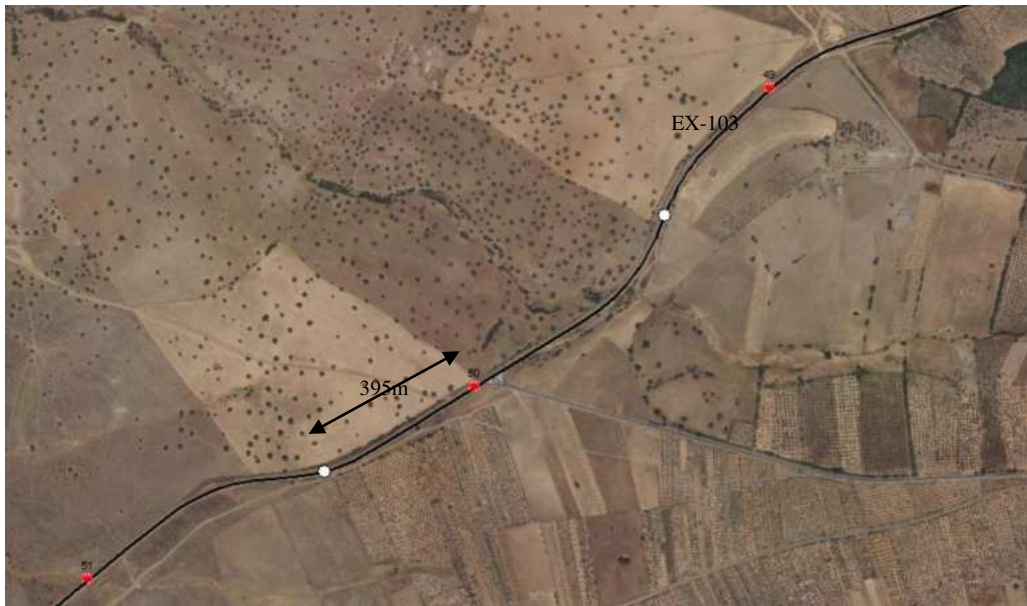


Figura 5. Desfases entre puntos medidos cada kilómetro sobre el eje (color rojo) y los puntos de los PPKK reales (color blanco) en un tramo de la carretera EX-103

Otra de las principales problemáticas encontradas fue la inexistencia de datos georreferenciados acerca de la siniestralidad, es decir, no existen unas coordenadas asignadas a cada punto donde se produce un accidente dentro de una carretera, por lo que no es posible su representación de manera directa en el software SIG. En la ficha redactada por la autoridad competente cuya información se recoge en la base de datos, encontramos que cada accidente lleva asociados la clave de la carretera en la que tiene lugar y el PPKK (aproximado hasta los hectómetros) en el que se ha producido. Ha de aclararse que esta información es tomada a mano por los agentes de tráfico y que está expuesta a posibles errores de interpretación de la señalización propia del kilometraje que exista en las vías.

Teniendo en cuenta éstos dos aspectos, nos encontramos ante una situación de inexistencia de datos vectoriales fiables y de accidentes viarios sin georreferenciar. De ese modo, para la consecución del presente trabajo y así llevar a cabo los objetivos marcados, habría que digitalizar correctamente toda la trama viaria de Extremadura con todos sus puntos kilométricos y posteriormente, vincular los accidentes geográficos con víctimas de toda la serie temporal de que se disponía a dicha trama. Parece lógico que el trabajo que todo esto supondría sería inmenso y por tanto se decidió seleccionar sólo las tres carreteras de la región más representativas del estudio. Para ello, se definieron tres criterios clave.

Criterio numero 1: Acumulación de accidentes con víctimas

Para la aplicación de este criterio de selección nos basamos en los datos de siniestralidad del periodo 2010-2015 (ambos inclusive) centrándonos solo en aquellos accidentes que hayan registrado heridos leves, graves o fallecidos (accidentes con víctimas). Posteriormente seleccionamos, de entre nuestros resultados, el 10% de carreteras con mayor número de accidentes con víctimas.

Criterio número 2: Siniestralidad en los últimos dos años

Este criterio consistió en calcular, para cada año del periodo de estudio, el promedio de accidentes (con heridos leves, graves o fallecidos) del conjunto de todas las carreteras de la red extremeña. De entre nuestros resultados se seleccionó aquel que proporcionó el valor máximo. Superaron este criterio aquellas carreteras cuyo promedio de accidentes en los dos últimos años (2014-2015) fuera mayor al doble del promedio máximo calculado anteriormente.

Criterio número 3: Índice de peligrosidad

En este último criterio la condición para seleccionar las carreteras se basó en el índice de peligrosidad (IP) de las mismas y cuya fórmula es:

$$IP = \frac{N^{\circ} \text{ de accidentes con víctimas} \times 10^8}{IMD \times 365 \times \text{Longitud en km}}$$

Donde:

- IP= índice de peligrosidad.
- IMD= intensidad media diaria de la carretera.

Para calcular la IMD (intensidad media diaria) utilizamos los datos de intensidades de tráfico y tramificación de la red de estaciones de aforo de la Junta de Extremadura. En ellos se recogen los aforos de vehículos registrados por cada estación de la red. Como para una carretera existen varias estaciones de aforo que cubren los distintos tramos de la misma, calculamos, para cada una de las carreteras de la red extremeña, su IMD mediante la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{\sum_1^n (IMD_n \times l_n)}{L_T}$$

Donde:

- n= número de tramos de cada carretera.
- IMDn= intensidad media diaria de cada tramo.
- ln= longitud (en kilómetros) de cada tramo.
- LT= longitud total de la carretera.

Una vez calculado el IP (índice de peligrosidad) de cada carretera, para cada año del intervalo 2011-2014, se estableció que este criterio fuera superado por aquellas carreteras en las que el IP promedio de los años 2013-2014 fuera mayor que el IP promedio de los años 2011-2014.

Establecidos los tres criterios anteriores, y aplicados a cada una de las carreteras de la red extremeña, finalmente fueron seleccionadas para el estudio aquellas carreteras que superaron los tres criterios y son las indicadas en la tabla 3. De ese modo, la longitud viaria del presente estudio supuso un total de 383,8 km de longitud, que representa aproximadamente el 10% de la red de carreteras de la Junta de Extremadura.

Tabla 3. Carreteras seleccionadas para el estudio

CARRETERA	LONGITUD
EX-100	87,35 km
EX-103	209,09 km
EX-206	87,36 km
Longitud total	383,8 km

METODOLOGÍA

Creación de PPKK

Una vez seleccionadas las tres carreteras objetivo de estudio, se procedió a la creación de PPKK. Para ello, fue necesario recorrer virtualmente, con la herramienta Street View (Figura 6), cada una de las tres carreteras e ir almacenando en un archivo de formato kml la situación geográfica de cada señal indicadora de los puntos kilométricos a lo largo de las carreteras.

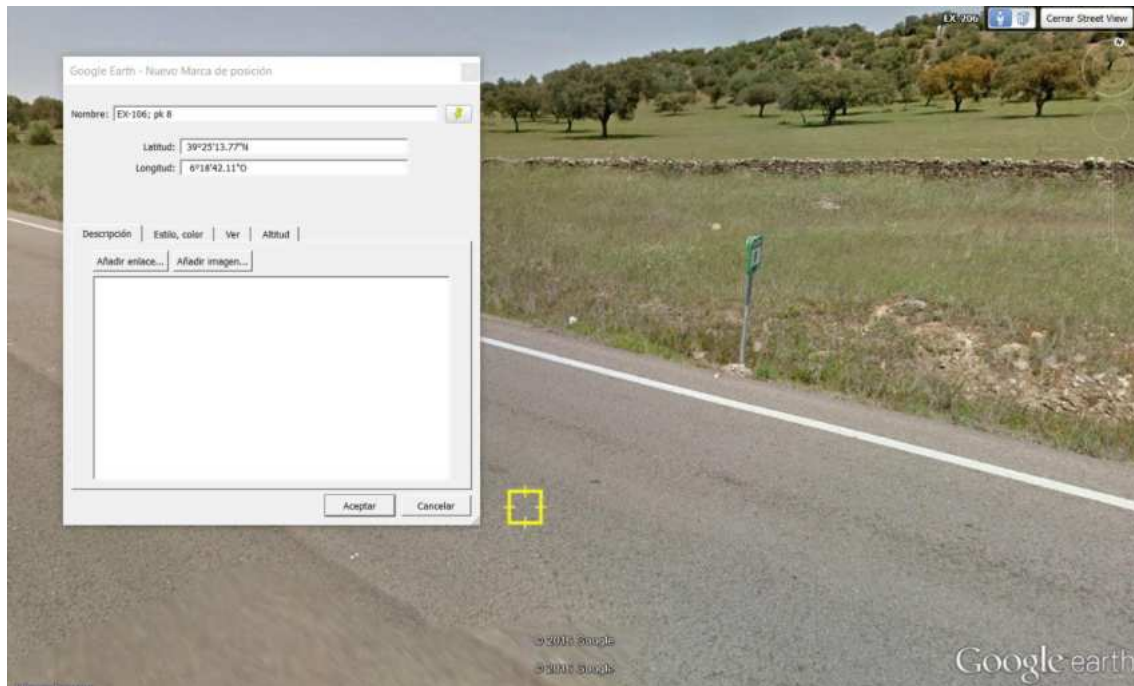


Figura 6. Georreferenciación de PPKK mediante la herramienta Google Earth

Una vez almacenadas las coordenadas geográficas de los puntos kilométricos reales de cada carretera, se importaron como una capa de puntos a nuestro entorno de trabajo SIG. Por otro lado, los ejes, que representan la longitud real de las carreteras, fueron obtenidos de forma similar a la anterior.

Representación geográfica de los accidentes

Para lograr la georrepresentación de los datos de siniestralidad en las carreteras debíamos vincular en el proyecto SIG los datos relativos al eje, a los PPKK y a los accidentes. Estos últimos los obtendremos desde la base de datos citada, a partir de un archivo con formato .xls para después introducirlos como una tabla en el SIG.

Seguidamente se llevó a cabo un proceso llamado segmentación dinámica mediante el cual se logró representar los datos de la siguiente manera:

Cada accidente registrado en nuestra tabla tiene asignado, entre otros datos, el PPKK de la carretera en la que se ha producido el mismo, de tal manera que, “tramificando” la carretera a partir de la capa de PPKK creada anteriormente podremos relacionar la tabla de accidentes con los PPKK (obtenidos de los reales mediante Street View)

La secuencia concreta, usando una herramienta de referenciación lineal, fue la siguiente:

1. Creación de rutas a partir de la capa del eje de la carretera:

Este proceso consistió en establecer el eje de la carretera como la “ruta” en la que se situaran los eventos, en nuestro caso los accidentes. Con esto indicamos que un accidente que llevara en sus datos la carretera EX-### se colocara a lo largo del eje de esa misma carretera. En resumen, este primer paso asoció una “etiqueta” a cada eje con el código de la carretera, para poder después distribuir sobre él los accidentes.

2. Calibración de la ruta creada anteriormente a partir de la capa de PPKK:

El segundo paso consistió en calibrar la ruta creada anteriormente de manera que obtuviéramos referencias de la situación de cada accidente. Para calibrar la ruta se utilizó la capa de los PPKK obtenida previamente. Tras esta fase se obtuvo una capa calibrada donde poder ordenar los accidentes a través de sus PPKK.

3. Creación de capa de eventos de ruta a partir de la tabla de siniestralidad importada y de las rutas calibradas:

Obtenida ya la ruta calibrada el último paso de este proceso consistió en relacionarla con su tabla de accidentes correspondiente.

Elaboración de mapas

Dado el gran potencial de los Sistemas de Información Geográfica, para gestionar y representar toda la información georreferenciada, las posibilidades de representación son también muy amplias. De ese modo, se procedió, no sólo a la representación cartográfica de la siniestralidad, sino también al análisis de los accidentes con otras posibles variables como pueden ser la IMD (intensidad media diaria), la población de los municipios, o incluso la pendiente del terreno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapa de siniestralidad vial:

Se generaron los mapas de siniestralidad representando la situación geográfica de todos los accidentes registrados en la base de datos durante los cinco años objeto de estudio. Debido al alto índice de siniestralidad de las carreteras seleccionadas para el estudio, se ha representado en la figura 7 tan sólo tres de los años, puesto que la totalidad de los accidentes es tan elevada que la representación se haría muy complicada.

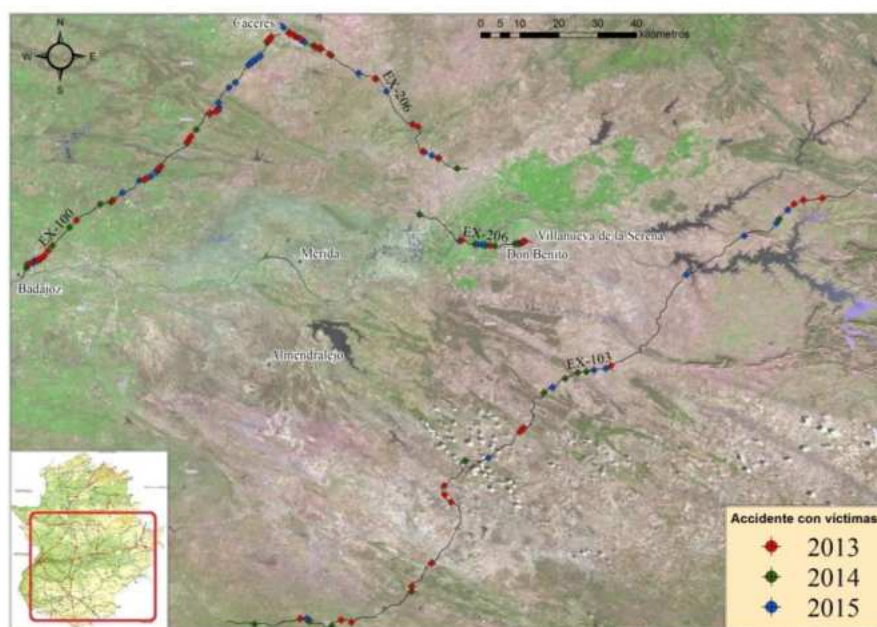


Figura 7. Mapa de siniestralidad vial durante el periodo 2013-2015

En primer lugar, se puede observar en dicha figura 7 que la carretera EX-100 acumula un valor mayor de siniestralidad que la EX-103. Por otro lado, y analizando una a una las carreteras estudiadas, se observa que existen, sin lugar a dudas, tramos con un elevado número de accidentes.

Mapa de Intensidad Media Diaria de tráfico:

Se elaboró una serie de mapas anuales representando la intensidad de tráfico de cada una de las carreteras del estudio. Para ello, se tramificaron las carreteras del estudio según la red de estaciones de aforo de la red extremeña y se asignó una escala de colores según valores de IMD.

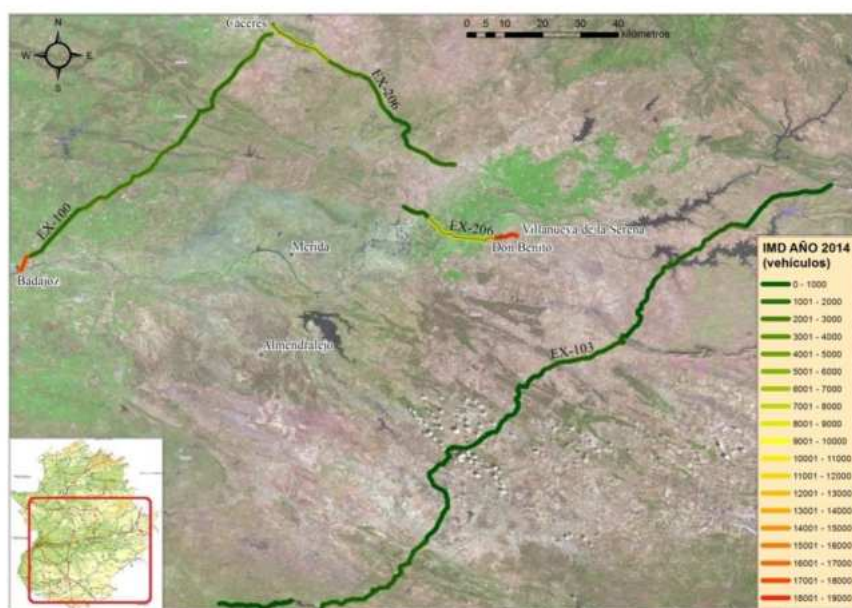


Figura 8. Mapa de Intensidad Media Diaria de tráfico en el año 2014

La figura 8 muestra la intensidad media diaria de tráfico para uno de los años de estudio, de tal manera que se puede observar cómo, por ejemplo en la carretera EX-206, dependiendo de las poblaciones por las que atravesase, la intensidad varía de unos tramos a otros con grandes diferencias entre sus valores.

Mapa de pendientes-siniestralidad:

Con el fin de poder llevar a cabo un análisis de la relación de la siniestralidad con otras variables, en este caso del terreno por el que discurre la carretera, se elaboró un mapa de pendientes a partir del MDE disponible en el centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional y se procedió a vincular dicha pendiente con los accidentes.

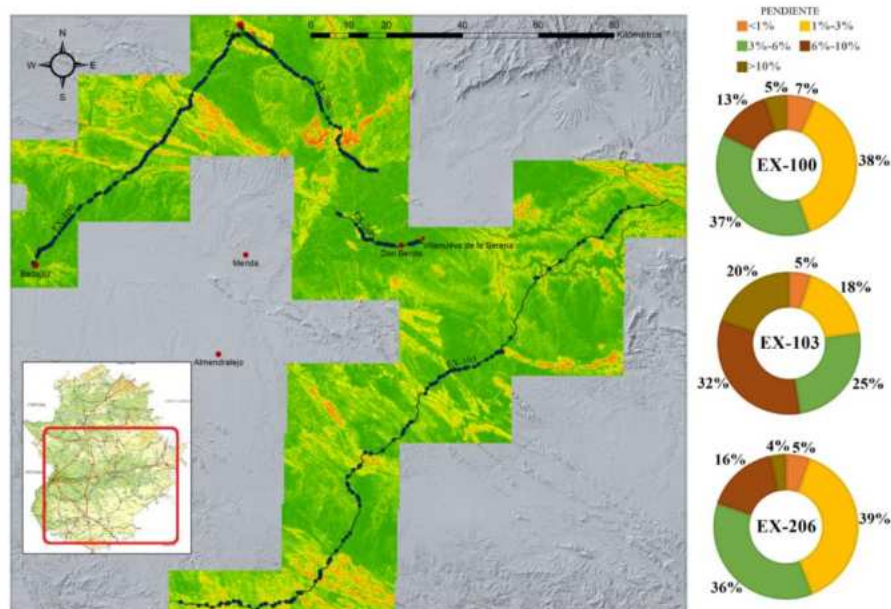


Figura 9. Mapa de pendientes y accidentes del periodo 2010-2015

Tal y como se observa en la figura 9, y estudiando en concreto la relación entre la pendiente y la siniestralidad, las carreteras EX-100 y EX-206 tienen una situación muy similar, produciéndose la gran mayoría de los accidentes en el intervalo de pendientes del 1 al 6%. Sin

embargo, en la EX-103 los accidentes se incrementan en gran medida en la franja del 6 al 10% de pendiente.

Mapa de IMD-siniestralidad-población

En este caso, se trató de estudiar un posible vínculo entre tres variables, la población del municipio en el que ocurre el accidente, el IMD y la siniestralidad.

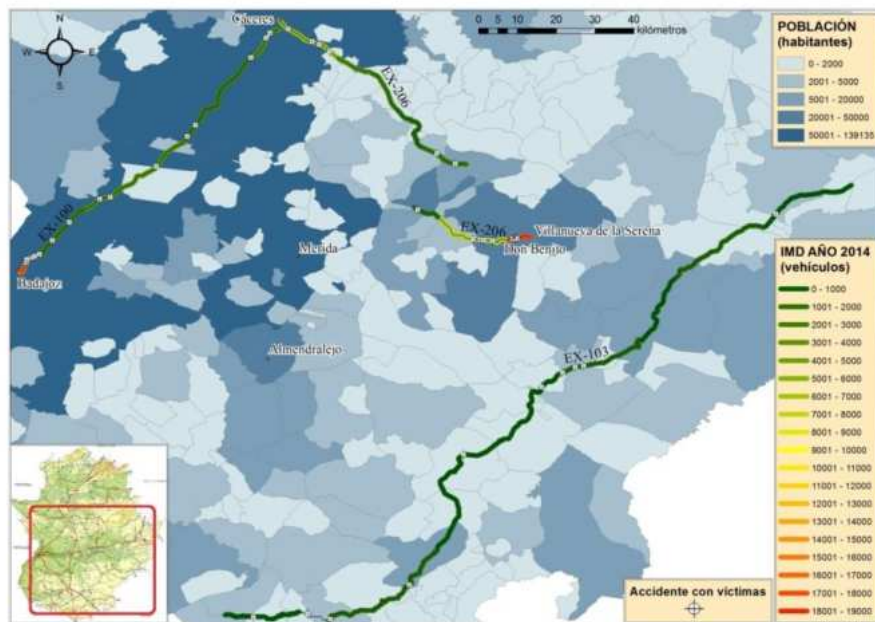


Figura 10. IMD-siniestralidad-población en el año 2014

Según se puede apreciar en la figura 10 los municipios con mayor población son aquellos que atraviesa la carretera EX-100, sin embargo su IMD tiene unos valores muy escasos en prácticamente toda su longitud. Sin embargo, sí se puede considerar una relación muy estrecha entre el IMD y la siniestralidad. En el caso de la EX-206 es palpable la relación entre las tres variables, cuando la carretera atraviesa municipios con menor población, la Intensidad Media Diaria de tráfico se reduce y también lo hace la siniestralidad y al contrario en municipios con mayor cantidad de población. Finalmente se puede afirmar también que en el año 2014 existe una relación directa entre el IMD, población y siniestralidad en la carretera EX-103.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado algunas posibles aplicaciones de las tecnologías SIG en el análisis de la seguridad vial, analizando más en profundidad el caso de las 3 carreteras extremeñas con mayor siniestralidad.

Con este trabajo se ha tratado de demostrar cómo la georreferenciación de la accidentalidad no sólo supone un gran avance para analizar la siniestralidad en sí, sino también, al trabajar en un entorno SIG, se pueden realizar todo tipo de relaciones con otras variables y así estudiar la situación desde otros puntos de vista. En nuestro caso, hemos relacionado la siniestralidad tanto con variables de relación directa con la misma, como es la intensidad media diaria de tráfico, como con otras con menor vinculación a priori, tales como la población o incluso variables físicas del terreno por el que discurre la propia carretera.

Como conclusión fundamental del trabajo, se puede afirmar que los SIG son herramientas con una potencialidad muy elevada para realizar un análisis profundo de la siniestralidad y con ello, tratar de reducirla con medidas eficaces. Sin embargo también ha quedado latente la necesidad ímproba de tener toda la información, en cuanto a accidentes se refiere, georreferenciada correctamente. Una localización exacta de la red viaria, de todos sus elementos

clave y en este caso, de los accidentes que en ella se producen, ayudarían en gran medida a la mejora de la seguridad vial en nuestra región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altamirano Moran, D. R. y Espinoza Ramirez, D. C. (2013): Metodología para modelar datos de corte y relleno de la sección del terraplen de una carretera, mediante un sistema de información geográfica.

Castell Marcos, E. y Alemany Gómez, L. (2013): SIG y Visor Web de energía solar y eólica. Aplicación práctica en el País Vasco.

Gómez Barroso, D., López Cuadrado, T., Llácer, A., Suárez, R. P. y Fernández Cuenca, R. (2015): Análisis espacial de los accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera en España, 2008-2011. *Gaceta Sanitaria*, 29, 24-29.

Hinojosa Reyes, R., Jiménez Sánchez, P. L., Hernández Hernández, V. y Campos Alanís, J. 2012: Siniestralidad por Accidente de Tránsito en México. Una aproximación desde el análisis espacial. Luján.

Jiménez Espada, M., Arranz, A., Gargantilla Gallardo, B. y Pozas Sanabria, J. (2015): Acciones en materia de seguridad vial en Extremadura. *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, 50-59.

Lucano, M. J. y Fuentes, M. (2010): Evaluación del potencial de radiación solar global en el departamento de Cochabamba utilizando modelos de sistemas de información geográfica e imágenes satelitales. *Revista boliviana de física*, 17, 13-21.

Ministerio del Interior. 2014: Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico. ed. M. d. Interior.

Peña Lopis, J. 2006: *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio: entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales: teoría general y práctica para ESRI ArcGis 9*. Editorial Club Universitario.

Pérez Martínez, J. E., Martínez Sánchez, F. I., Perpiñán Abellán, J. M. y Prades Pinto, J. L. (2015): La valoración monetaria de los costes humanos de la siniestralidad vial en España. *Gaceta Sanitaria*, 29, 76-78.

Sámano Celorio, M. L. 2011: *Desarrollo e integración de modelos numéricos de calidad del agua en un Sistema de Información Geográfica*. Universidad de Cantabria.

Samper, J., Garca-Vera, M., Pisani, B., Alvares, D., VVarela, A. y Losada, J. (2005): Modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica para la estimación de los recursos hídricos: aplicación de GIS-BALAN a varias cuencas españolas. *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*, 3, 269-274.

Varela García, F. A., Martínez Crespo, G., Varela García, J. I. y Díaz Grandio, D. 2007: Los sistemas de información geográfica en el análisis de la siniestralidad en carretera. Estudio particular para la provincia de la Coruña. In *Jornadas de Seguridad Vial*. Granada.

Zambrano Nájera, J. (2015): Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG.

ANÁLISIS DEL NIVEL SOCIOECONÓMICO DE LOS MUNICIPIOS ESPAÑOLES ENTRE 1998 Y 2012

José Manuel Naranjo Gómez¹ y Antonio García Manso²

¹ Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad s/n, 10003, Cáceres (España), jnaranjo@unex.es

² Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad s/n, 10003, Cáceres (España), agmanso@unex.es

RESUMEN

Desde la perspectiva económica, durante los años 1998 y 2012 se han producido intensos cambios económicos que han afectado a la sociedad. En estos años surgió la “burbuja inmobiliaria” y el drástico crecimiento de la industria de la construcción. El precio de la vivienda en 2006 disminuyó el auge de la construcción y la crisis resultante en el sector de la construcción se agravó por la crisis financiera desde el segundo semestre de 2007. El presente estudio investiga mediante técnicas estadísticas y cartográficas el desarrollo socioeconómico de los municipios españoles. El objetivo es proporcionar un marco metodológico para el análisis de los cambios socioeconómicos mediante diferentes datos de distintas fuentes de información. Asimismo, se caracterizaron socioeconómicamente los municipios españoles, se analizó su evolución y se determinó la cohesión socioeconómica entre ellos. Los resultados muestran que entre 1998-2006 el número de municipios según su grado de desarrollo socioeconómico es muy variable. No obstante, la crisis económica sufrida ha hecho que a partir de 2006 se establezca una tendencia respecto al número de municipios según su desarrollo socioeconómico y población residente, estableciéndose un modelo intermedio de cohesión socioeconómica. Asimismo, se verifica la histórica hegemonía económica del norte sobre el sur peninsular español.

Palabras Clave: desarrollo socioeconómico, cohesión socioeconómica, España, k-means, población.

ABSTRACT

From the economic perspective, during the years 1998-2012 has been intense economic changes that have affected society. In these years came the “housing bubble” and the dramatic growth of the construction industry. The price of housing in 2006 decreased and the resulting crisis in the construction sector was exacerbated by the financial crisis since the second half of 2007. This study investigates the socioeconomic development of the Spanish municipalities using statistical and cartographic techniques. The aim is to provide a methodological framework for the analysis of socioeconomic changes by means of data from different sources of information. Also Spanish municipalities were characterized, their evolution was analyzed and it was determined socioeconomic cohesion among them. The results show that the number of municipalities according to their degree of socioeconomic development is highly variable from 1998 to 2006. However, the economic crisis suffered did that from 2006 was established a trend according to the number of municipalities classified by socioeconomic development and population, establishing an intermediate model of socioeconomic cohesion. Also, it is checked the historical economic hegemony of the North over the Southern peninsular Spanish.

Key Words: socioeconomic development, socioeconomic cohesion, Spain, k-means, population.

INTRODUCCIÓN

Las agencias internacionales, nacionales y gobiernos locales han comenzado un proceso de definición y profundización en el concepto de desarrollo sostenible. No obstante, este término comenzó a desarrollarse en 1987 por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Asimismo, este se entiende como un compromiso cierto entre los objetivos ambientales, económicos y sociales de la comunidad, para lograr el bienestar de las generaciones presentes y futuras (Ciegis et al., 2009). Además, este concepto se desglosa en tres dimensiones: 1) económica, 2) medio ambiental, 3) social. En este sentido, las dimensiones económica y social determinan el bienestar socioeconómico; si todos los residentes en un territorio dado están socialmente cohesionados, la cohesión socioeconómica será alcanzada entre todos ellos (Pearce et al., 1989).

Precisamente, la cohesión social puede ser comprendida como la capacidad de un sistema social, económico y político para lograr tres objetivos complementarios: promover el empoderamiento y participación social de los ciudadanos, la creación de redes sociales e institucionales que generen capital social y promover la inclusión social y contribuir a la aplicación de los derechos sociales en su sentido más amplio (Cabrero y Hendrickson, 2011). Por lo tanto, la cohesión social puede ser concebida como el elemento básico para que las personas puedan acceder a los recursos necesarios producidos por la sociedad y, a su vez, determina el grado de integración entre los individuos dentro de un grupo y los valores asociados a las conexiones entre ellos (Carpiano, 2007).

Asimismo, desde finales de los años 90 la Comisión Europea entendió que la cohesión territorial debería ser un principio rector en la búsqueda de un desarrollo más armonioso y equilibrado para el territorio de la Unión Europea, debiendo considerar otros principios rectores fundamentales para la misma como son la cohesión económica y social (Gutiérrez et al., 2015). De este modo, se trasladaron todas aquellas cuestiones que antes se presentaban bajo un prisma puramente social (igualdad, equidad, solidaridad) a un enfoque territorial, lo que suponía añadir cuestiones de equidad o solidaridad interterritoriales (Fernández et al. 2009).

Sin embargo, en nuestra sociedad los espacios donde se desarrolla la vida de las personas están delimitados por la discontinuidad geográfica y la fragmentación del espacio, en función del nivel desarrollo socioeconómico (Reques et al., 2012). En este sentido, las políticas adoptadas prestan particular atención a la cohesión socioeconómica a través de diferentes modelos de desarrollo. Mientras que tradicionalmente se tenía en cuenta la rentabilidad económica de las inversiones realizadas en el territorio y posteriormente el impacto ambiental de las mismas, en la actualidad, la cohesión social es un elemento más a tener en cuenta por los agentes sociales (Frank et al., 2014; Naranjo, 2016).

A este respecto, el diagnóstico territorial es el proceso previo a la toma de decisiones sobre los objetivos que se desean conseguir, cómo se quieren abordar o qué desequilibrios se desean corregir. Su correcta definición implica detallar el estado de funcionamiento del sistema territorial en su conjunto (Moreno et al., 2012). Por este motivo, es importante mantener una visión integral, entendiendo el territorio como un conjunto interrelacionado de factores que deben mantener un equilibrio (Lagar, 2014). Por este motivo, la forma de identificar los recursos disponibles y evaluar las posibilidades constituye el diagnóstico territorial para plantear reequilibrios territoriales en lo social, ambiental y económico (Moreno et al., 2012), necesario para la consolidación de un modelo de progreso que garantice el desarrollo sostenible y la igualdad de oportunidades.

Desde un punto de vista económico, una de las principales características de los últimos años fue el surgimiento de la "burbuja inmobiliaria" en España: una drástica expansión de la industria de la construcción en virtud de las medidas de desregulación aprobados por el gobierno central que definieron suelo rústico como posibles sitios de construcción, junto con una legislación muy permisiva para la construcción y en proceso de urbanización en la segunda parte de la década de 1990 (Etxezarreta et al., 2011; Albertos y Sánchez, 2014). La consecuencia fue que desde 2004 a 2005 el número de viviendas aumentó en 23 millones de unidades (Chislett, 2008). A finales de 2006, el precio extremadamente alto de casas disminuyó el auge de la construcción, y la

crisis resultante en el sector de la construcción se ha visto agravada por la crisis financiera desde el segundo semestre de 2007.

Indudablemente, estos intensos cambios económicos producidos durante los años 1998 y 2012 han afectado a la sociedad española. De ese modo, se ha producido una mayor discontinuidad geográfica y fragmentación del espacio, según el nivel de desarrollo socioeconómico de los residentes del territorio. En este sentido, las políticas adoptadas deben procurar lograr una mayor cohesión socioeconómica. Por este motivo, es necesario un diagnóstico territorial que ayude a los agentes sociales a la toma de decisiones para plantear reequilibrios territoriales y lograr un modelo de progreso que garantice el desarrollo sostenible y la igualdad de oportunidades de la sociedad española.

A este respecto, el objetivo general de este trabajo es proporcionar un marco metodológico para el análisis de los cambios espaciales socioeconómicos que combinan diferentes tipos de datos procedentes de distintas fuentes de información. Los objetivos específicos planteados son: 1) caracterizar socioeconómicamente los municipios españoles durante los años 1998-2012, 2) analizar la evolución socioeconómica de estos municipios, 3) determinar la cohesión socioeconómica entre ellos.

Este trabajo se estructura en siete secciones. Después de esta introducción, se exponen los antecedentes a este trabajo de investigación y se describe la zona de estudio. Después, la metodología es detallada y a continuación, se clasifican los municipios según su grado de desarrollo socioeconómico entre 1998-2012. Posteriormente, se exponen los resultados en la sección que lleva el mismo nombre y se establecen algunas discusiones generales. El trabajo finaliza con ciertas conclusiones generales y una bibliografía que pueden facilitar trabajos de investigación futuros.

ANTECEDENTES

Uno de los temas más importantes y tradicionales de la geografía aplicada es analizar los cambios que se producen en el territorio, tanto a largo como a corto plazo (Serra et al., 2014). Por esta razón, se deben tener en cuenta además de las nuevas y complejas relaciones que se establecen en el territorio, la intensidad de los cambios producidos en el mismo (Bengs y Schmidt-Thomé, 2007). En este sentido, los patrones que se producen en el territorio en función de las variables analizadas que lo representan son fundamentales (Catalan et al., 2008; Salvati et al., 2013) y claros indicadores de la intensidad de los cambios producidos (Halleux et al., 2012).

Los métodos y datos utilizados para analizar los cambios espaciales en el territorio, han sido muy diversos (Serra et al., 2014). De acuerdo con el tipo de datos, los principales estudios son aquellos que utilizan registros estadísticos extraídos del censo o de otras encuestas estadísticas, recogidos dentro de unos límites administrativos, que pueden ser cartografiados usando límites vectoriales como provincias o prefecturas, los municipios o distritos de interés social y económico.

Respecto a las provincias o prefecturas utilizadas como unidad de análisis espacial señalar el estudio realizado por Ayuda et al., (2010) quienes estiman la densidad de población y el crecimiento poblacional en España entre 1787 y 2000. Además, estos autores relacionan actividades económicas, como la actividad industrial, con la población residente en el territorio analizado.

Del mismo modo, dentro de aquellos estudios que utilizan como unidad espacial los municipios destacan los trabajos realizados por Serra et al. (2014), estos autores investigan las variables que modelan la relación urbana-rural en el territorio. También el estudio realizado por Gutiérrez y Jaraíz (2007) quienes clasifican los términos municipales en España a partir de variables demográficas y socioeconómicas, empleando métodos de clasificación basados en redes neuronales artificiales. Asimismo es reseñable el trabajo realizado por Naranjo (2016) quién clasifica los municipios peninsulares españoles en 2012.

Por otra parte, dentro de los que se ciñen a distritos de interés social o económico destaca el realizado por Salvati (2013). Este autor analiza la expansión urbana mediante la expansión del número de edificios entre 1961-2001. El estudio se efectuó en la región urbana del Mediterráneo delimitada por Roma e Italia central. Este autor determinó que a principios de 1960 la expansión

era compacta y monocéntrica alrededor de roma, pero que en la década de 2000 la expansión era totalmente dispersa.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio donde se efectúa el siguiente estudio es España. Este país situado al suroeste de Europa, comparte en la Península Ibérica el 80 % del territorio con Portugal. Además, su territorio comprende las Islas Baleares y las Islas Canarias. Asimismo, al norte de África cuenta con las ciudades de Ceuta y Melilla.

La división territorial en España aparece como divisiones administrativas. Estas son las Comunidades Autónomas, las Provincias y los Términos Municipales o Municipios. A este respecto, en 2012 existen en España un total de 8116 municipios según el Padrón Municipal de Habitantes realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE). El municipio más septentrional es Mañón (La Coruña), el más meridional es El Pinar de El Hierro (Santa Cruz de Tenerife), el más occidental es La Frontera también en la isla de el Hierro (Santa Cruz de Tenerife) y el más oriental es Mahón (Islas Baleares).

La población oficial en España ha aumentado entre 1998 y 2012, según datos oficiales del INE obtenidos del Padrón Municipal de Habitantes realizado para cada uno de los años analizados en la serie temporal de este trabajo de investigación. De hecho, se ha pasado de 39.789.122 en el año 1998 a 47.265.206 habitantes en el año 2012. Asimismo, la distribución de la población es muy irregular, pues la gran parte de la población se concentra en el litoral y en ciudades con gran dinamismo económico como Madrid y Barcelona, dejándose amplias zonas del interior escasamente habitadas.

MÉTODOLOGÍA

La utilidad de las tecnologías de información geográfica para dar soporte a las políticas y estrategias relacionadas con el territorio, está avalada por infinidad de trabajos (Serra et al., 2014). Este trabajo de investigación se centra en la resolución de problemas de análisis espacial utilizando técnicas de información geográfica.

Los datos geográficos están compuestos por dos elementos: el aspecto espacial y el temático (Bosque, 1992). Si se tiene solamente en cuenta el aspecto espacial de los datos geográfico se tratará de análisis de la geometría, para lo que se han desarrollado multitud de métodos (Unwin, 1981). Si se tiene en cuenta el aspecto temático, obviando la posición de los objetos en el espacios, se tratará de una visión totalmente estadística (Santos y García, 2008). Este trabajo de investigación unifica ambos elementos, ya que uno y otro pueden interaccionar y los SIG suponen el soporte necesario para ejecutar el análisis que sustenta dicha interacción.

Asimismo, desde el punto de vista del uso humano del suelo, hay dos escalas esenciales de análisis: el asentamiento, que es la mínima unidad espacial considerada desde el punto de vista estadístico en relación al desarrollo socioeconómico del territorio y el municipio, ya que facilita la comprensión del uso del territorio (Reques et al., 2012). Los términos municipales representan la unidad mínima a cartografiar en la mayoría de las encuestas estadísticas españolas (Serra et al., 2014). Asimismo, las unidades espaciales municipales también son fácilmente interpretables por los responsables políticos y otras partes interesadas en la planificación regional y la geografía urbana-rural (Salvati et al., 2013). Por estos motivos, se ha utilizado esta unidad espacial para el análisis realizado.

En las tareas iniciales, destaca la generación de cartografía base de tipo vectorial mediante ArcGIS 10.1. Esta cartografía representa los municipios españoles mediante entidades gráficas poligonales. A estas entidades gráficas se les asoció de forma agregada los datos pertenecientes al municipio y a las pedanías incluidas en el mismo (Tabla 1). Las variables fueron seleccionadas tras la consulta de una amplia bibliografía relacionada con la determinación de las condiciones socioeconómicas que caracterizan la dinámica en los municipios de diversas áreas

de estudio (Reques et al., 2012; Fisher y Nikkamp, 2014; Rose y Harrison, 2014; Serra et al., 2014; Naranjo, 2015).

A este respecto, todas las fuentes utilizadas son completamente públicas y la información es totalmente accesible, pues se puede obtener a través de Internet. De ese modo, la metodología utilizada en este trabajo de investigación, puede ser reproducida con esos mismos datos. Por este motivo, se ha realizado el análisis entre los años comprendidos entre 1998-2012, ya que es cuando hay disponibilidad de datos. No obstante, para el conocimiento de estos autores es la serie temporal más extensa analizada a escala municipal y abarcando la totalidad del territorio español.

Tabla 1. Variables utilizadas para la caracterización socioeconómica de los municipios españoles.

VARIABLE	FUENTE DE INFORMACIÓN
POBLACIÓN RESIDENTE	PADRÓN MUNICIPAL DE HABITANTES DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE)
CUOTA DE MERCADO POR HABITANTE	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA
VEHÍCULOS DE MOTOR MATRICULADOS POR HABITANTE	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA
TASA DE DESEMPLEO	ENCUESTA DE POBLACIÓN ACTIVA DEL SERVICIO ESTATAL PÚBLICO DE EMPLEO (SEPE)
NÚMERO DE OFICINAS BANCARIAS	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA
SUPERFICIE DE CENTROS COMERCIALES	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA
ÍNDICE TURÍSTICO	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA
ÍNDICE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA	ANUARIO ECONÓMICO DE LA CAIXA

La descripción de estas variables es la siguiente:

1. Población residente: constituye el número total de habitantes residentes en cada término municipal, incluyendo además de la población nacional, la población extranjera y no se diferencia a la población por razón de edad o género.

2. Cuota de mercado por habitante: es un índice compuesto que expresa la capacidad de compra o consumo comparativo de cada uno de los municipios. Este índice se elabora mediante el uso de otros seis índices simples.

$$I_c = \frac{I_p + \frac{I_t + I_a + I_{ca} + I_b + I_{com}}{5}}{2}$$

Dónde:

- Índice simple de población (I_p) que expresa el número de residentes en cada municipio, ofrecido por el INE mediante el Padrón Municipal de Habitantes.

- Índice simple del número de teléfonos fijos de uso doméstico (I_t) que son las líneas telefónicas fijas, suministrado por la Comisión del Mercado de Telecomunicaciones (CMT).

- Índice simple de automóviles como el número de automóviles (I_a), se obtiene del parque de vehículos matriculados.
- Índice simple de camiones y furgonetas que es el número de camiones y furgonetas (I_{cam}), se obtiene del parque de vehículos matriculados.
- Índice simple de oficinas bancarias (I_b) que es el número de sucursales abiertas al público tanto de bancos, cajas de ahorros y cooperativas de créditos.
- Índice simple de las actividades minoristas comerciales (I_{com}) como el índice comparativo de la importancia del comercio minorista. Este índice simple se elabora como el valor de la cuota tributaria (cuota de tarifa) del Impuesto sobre Actividades Económicas (IAE) del comercio minorista de un municipio entre la suma total de las cuotas que se pagan en todos los municipios españoles. Su valor refleja el peso relativo de la actividad comercial de un municipio respecto a los demás.

De este modo, la cuota de mercado constituye una orientación adecuada para valorar y ponderar la cantidad de productos y servicios que, teóricamente y en igualdad de condiciones, pueden absorber los municipios, especialmente cuando se trata de productos o servicios que son objeto de una distribución homogénea.

No obstante, la capacidad de consumo de un municipio en función de los anteriores índices simples, se mide de forma agregada. Por este motivo, posteriormente se calcula la cuota de mercado por habitante. Este índice se calcula mediante la relación entre la cuota de mercado por el número de habitantes residentes en el municipio. De ese modo, se logra obtener la capacidad de compra o consumo de forma desagregada y no sólo en función de la población, sino también en función del poder adquisitivo de ésta.

3. Vehículos de motor matriculados por habitante: se obtiene a partir del parque de vehículos matriculados, como la suma de automóviles, camiones y furgonetas, motos, autobuses, tractores y resto de vehículos de motor. No obstante, en la categoría tractores sólo se incluyen los tractores industriales. Los datos son ofrecidos por la Dirección General de Tráfico (DGT) y es calculado por La Caixa. Después, se determina la relación entre el número de vehículos y la población residente en el municipio.

4. Tasa de desempleo: cómo el porcentaje de población residente en el municipio comprendida entre los 15 y 64 años de edad que se encuentra en situación de desempleo. Los datos son ofrecidos por el Servicio Estatal Público de Empleo (SEPE).

5. Número de oficinas bancarias: sucursales abiertas al público del total de entidades de depósito (bancos, cajas de ahorros y cooperativas de crédito). Los datos son ofrecidos por el Banco de España y el Libro Verde de Entidades Financieras y es elaborado por La Caixa.

6. Superficie de centros comerciales: metros cuadrados de superficie bruta alquilable ofrecida por la Asociación Española de Centros y elaborada por La Caixa.

7. Índice turístico: índice comparativo de la importancia turística. El índice se obtiene en función de la cuota o impuesto de actividades económicas correspondiente a las actividades turísticas, el cual se basa a su vez en la categoría de los establecimientos turísticos (hoteles y moteles, hoteles-apartamentos, hostales y pensiones, fondas y casas de huéspedes, campings y apartamentos gestionados por empresas), número de habitaciones y ocupación anual (todo el año o parte del año); por lo que constituye prácticamente un indicador de la oferta turística. Los datos son ofrecidos por el Ministerio de Economía y Hacienda, las Diputaciones Forales del País Vasco y el Gobierno de Navarra. Asimismo, es elaborado por La Caixa mediante el mismo procedimiento empleado para el índice turístico.

8. Índice de actividad económica: índice comparativo de la actividad económica. Este se obtiene en función del impuesto correspondiente al total de actividades económicas empresariales (industriales, comerciales y de servicios) y profesionales. Es decir, incluye todas las actividades económicas excepto las agrarias (que no están sujetas al impuesto de actividades económicas). Los datos son ofrecidos por el Ministerio de Economía y Hacienda, las Diputaciones Forales del País Vasco y el Gobierno de Navarra. Al igual que antes, es elaborado por La Caixa mediante el mismo procedimiento empleado para el índice turístico.

Posteriormente se realizó la normalización de estas variables para que todas tuvieran un peso similar. Asimismo, mediante el uso de Octave se agruparon los municipios en cuatro clases. Para ello se utilizó el algoritmo de agrupamiento “K-means”.

A este respecto, “K-means” (MacQueen, 1967) es uno de los algoritmos de aprendizaje no supervisados más simples utilizados en la minería de datos, que resuelven el problema del agrupamiento. El objetivo de este algoritmo es la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano.

Concretamente, dado un conjunto de observaciones $\{x_1, \dots, x_n\}$ (donde $x_i \in \mathbb{R}_n$), se pretende agrupar los datos en unos pocos grupos cohesivos a fin de minimizar la suma de los cuadrados dentro de cada grupo $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$. Mediante un procedimiento iterativo y de forma intuitiva “k-means” comienza por estimar los centroides iniciales. Este paso se conoce como paso de asignación, pues dado un conjunto inicial de k centroides $m_1^{(1)}, \dots, m_k^{(1)}$ el algoritmo asigna cada observación al grupo con la media más cercana. De ese modo, la partición de las observaciones se realiza de acuerdo con el diagrama de Voronoi:

$$S_i^{(t)} = \{x_p : \|x_p - m_i^{(t)}\| \leq \|x_p - m_j^{(t)}\| \forall 1 \leq j \leq k\}$$

Donde cada x_p irá dentro de un $S_i^{(t)}$, incluso pudiera ir en dos de ellos.

Después se refina esta suposición repetidamente asignando ejemplares a los centroides más cercanos y después recalculando los centroides basado en las asignaciones previas. Este paso se conoce como paso de actualización. En el mismo se calculan los nuevos centroides como el centroide de las observaciones en el grupo:

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j$$

El algoritmo se considera que ha convergido cuando las asignaciones ya no cambian.

En nuestro caso el algoritmo se ha aplicado a un conjunto de datos de 8 dimensiones, pues es el número de variables que hemos utilizado para obtener la agrupación de los municipios en cuatro clases de desarrollo socioeconómico: 1) muy desarrollado, 2) desarrollado, 3) potencialmente atrasado, 4) atrasado. Este número de clases se ha considerado lo suficientemente descriptivo después de realizar los cálculos con diferentes números de clases.

Además, esta agrupación se ha realizado de forma relativa para cada año en la serie temporal comprendida entre 1998 y 2012.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados más representativos del estudio y la discusión. Para ello se analizan el número de municipios, la población residente en los municipios y la distribución territorial de los municipios mediante cartografía temática, siempre considerando las cuatro clases de desarrollo socioeconómico establecidas.

Aunque la clasificación de los municipios se realiza de forma relativa a cada año, la comparación del número de municipios de cada clase de desarrollo entre los años analizados (Figura 1), nos permite determinar cuándo se ha producido una mayor o menor cohesión socioeconómica en España. A este respecto, se produciría una mayor cohesión social si la mayoría de los municipios pertenecieran a una única clase de desarrollo socioeconómico. De ese modo, iría descendiendo la cohesión social si gran parte de los municipios pertenecieran a las dos clases intermedias, es decir, si fueran desarrollados o potencialmente atrasados. Asimismo, la menor cohesión socioeconómica se produce si gran parte de los municipios pertenecieran a las dos clases de desarrollo socioeconómico más extremas, es decir, si en su mayoría los municipios fueran muy desarrollados o bien atrasados.

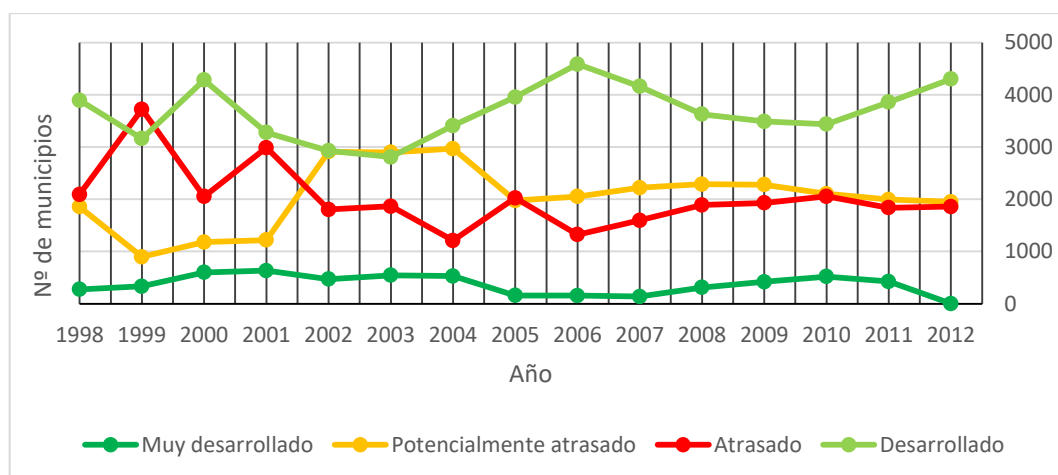


Figura 1. Número de municipios clasificados según su desarrollo socioeconómico entre 1998-2012.

Desde esta perspectiva, el año donde se produce la mayor cohesión socioeconómica es 2002, pues el 36% de los municipios corresponde a municipios desarrollados y otro 36% es para los municipios potencialmente atrasados, siendo el 22% municipios atrasados y escasamente un 6% municipios muy desarrollados. El segundo y tercer año analizado donde se produce una mayor cohesión socioeconómica es en 2003 y 2004 respectivamente, pues los municipios en estos años presentan cifras muy similares al año 2002. Desde 2005 hasta 2012 la tendencia mostrada es muy similar. No obstante, en estos años la cohesión socioeconómica es menor que en los anteriores años analizados, ya que predominan los municipios desarrollados aproximadamente hasta el 50%, los municipios potencialmente atrasados equivalen a alrededor del 25%, los municipios atrasados corresponden aproximadamente al 20% y el resto de municipios muy desarrollados nunca llega a ser mayor del 6%.

Conjuntamente, el número de municipios clasificados en cada una de las categorías de desarrollo socioeconómico, a lo largo de los años analizados no muestran ninguna tendencia clara y se aprecia una enorme variación. A este respecto, el número de municipios muy desarrollados son los que presentan menor variación, ya que nunca esta variación es superior a 500 municipios. Por el contrario, los municipios considerados potencialmente atrasados son los que presentan mayor variación, ya que esta variación comparando los años 1999 y 2004 es superior a 2000 municipios. En este sentido, también destaca el aumento de municipios atrasados en 1999 respecto a 1998, esto se debe a la caída en estos municipios de la cuota de consumo y el índice de actividad económica, es decir, descendió la capacidad de consumo y la actividad económica empresarial. Por el contrario, en 2006 creció el número de municipios desarrollados y descendió el número de municipios atrasados aproximadamente en la misma proporción, respecto a 2005, pues aumentó la cuota de mercado,

Sin embargo, la alta variación del número de municipios clasificados según su categoría de desarrollo socioeconómico es más acusada entre 1998-2006, pues es mucho menor a partir de 2006. En este sentido, el número de municipios mayor y menor, en cada uno de los años analizados, siempre corresponde a los municipios desarrollados y muy desarrollados respectivamente, siendo el segundo y tercer número de municipios los correspondientes a municipios potencialmente atrasados y atrasados, respectivamente. Incluso, se observa como las líneas representativas de los municipios potencialmente atrasados y atrasados (líneas amarilla y roja), van confluyendo. De tal forma que aunque el número de municipios potencialmente atrasados siempre es mayor, prácticamente el mismo número de municipios es el correspondiente a municipios atrasados. Este comportamiento del número de municipios clasificados puede ser debido a que en este periodo aumenta considerablemente las tasas de desempleo, disminuye el índice de actividad económica y prácticamente permanece invariable la cuota de mercado.

Desde el análisis realizado, se puede afirmar como consecuencia que aunque entre 1998-2012 no existe una tendencia clara en cuanto al aumento o descenso de municipios según su categoría de desarrollo socioeconómico, a partir de 2006 se está consolidando el mismo modelo de cohesión socioeconómica en España. Este modelo se caracteriza por la existencia de valores máximos para el número de municipios considerados desarrollados, seguido por valores intermedios para los municipios clasificados como potencialmente atrasados. Además, el número de municipios atrasados, aunque es menor, es aproximadamente igual al número de municipios considerados atrasados. Por último, los valores mínimos y prácticamente inexistentes son los correspondientes a los municipios clasificados como muy desarrollados.

Como consecuencia, el modelo de cohesión socioeconómica que más se repite es un modelo de cohesión socioeconómica intermedio. Además, este se puede repetir a lo largo de estos años, pues se ha ido consolidando entre 2006-2012 que son los últimos años analizados en este trabajo de investigación. Si bien es cierto que precisamente ese periodo de tiempo está caracterizado por la enorme crisis económica que sufrió España. Por tanto, este modelo de cohesión puede mejorar, si se actúa sobre los municipios atrasados y potencialmente atrasados. Si estos mejoran su desarrollo socioeconómico, pasará a ser desarrollados. En caso contrario, si no se actúa sobre dichos municipios permanecerá este modelo de cohesión intermedio.

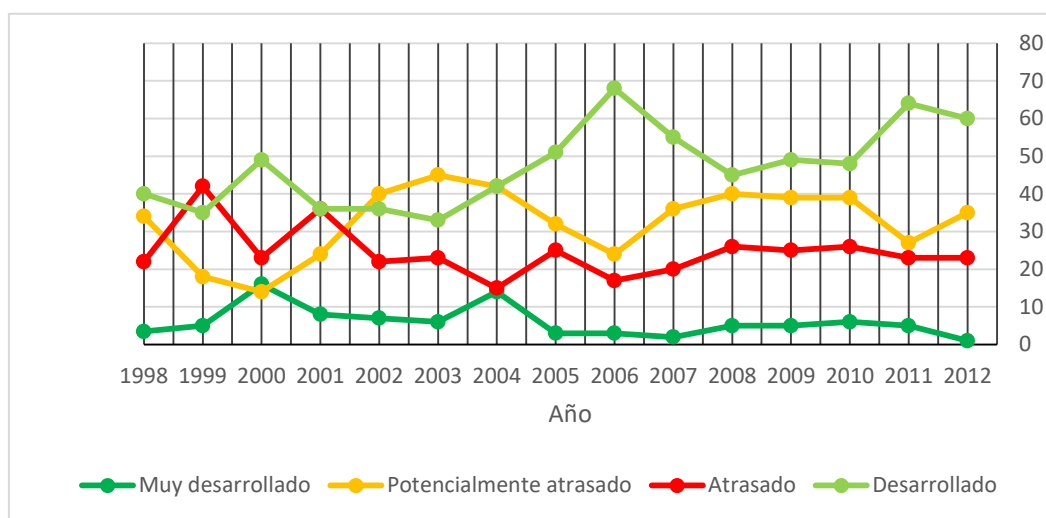
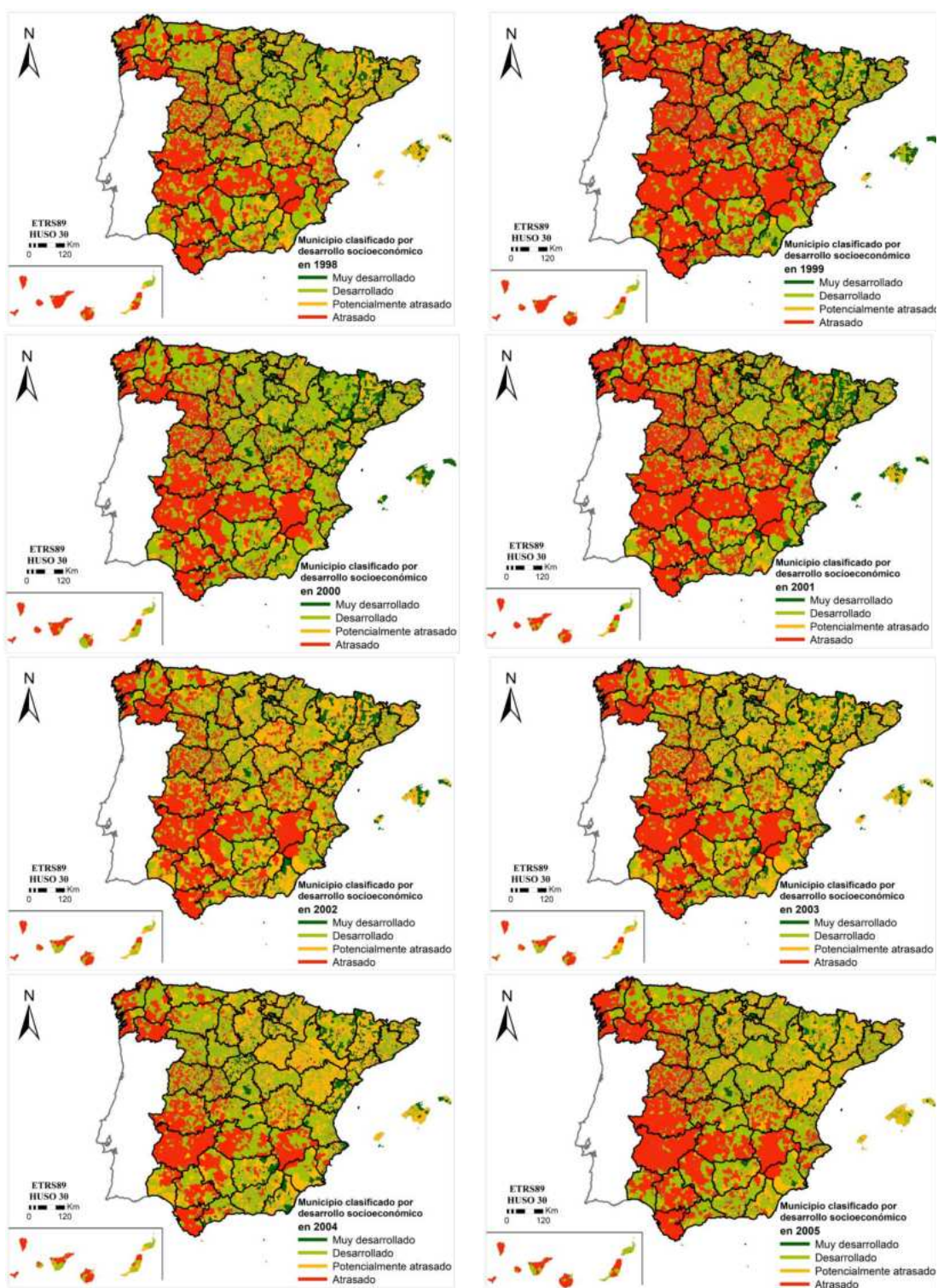


Figura 2. Porcentaje de población residente en los municipios clasificados según su desarrollo socioeconómico entre 1998-2012.

Del mismo modo, que anteriormente se analizó la variación del número de municipios, podemos observar en la Figura 2 la variación de la población residente en los municipios clasificados según su grado de desarrollo socioeconómico. En este sentido, el año donde se produce la mayor cohesión socioeconómica es 2004, ya que el 42% de la población reside en municipios desarrollados y otro 42% pertenece a municipios potencialmente atrasados, el 14% vive en municipios muy desarrollados y un 15% en municipios atrasados. Los siguientes años donde se produce mayor cohesión socioeconómica son 1998, 2001, 2002, 2003, pues acogen cifras similares a 2004 en los residentes en los municipios desarrollados y potencialmente atrasados. No obstante, el porcentaje de población en municipios muy desarrollados es escasa y en municipios atrasados es mayor que en 2004. Precisamente a partir de 2004, entre 2005-2012, se observa una clara tendencia que se mantiene. Esta consiste en una escasa población residente en municipios muy desarrollados. De hecho, en 2012 solamente se acoge el 1% de población correspondiente a los municipios de Madrid, Barcelona, Valencia y Zaragoza. Asimismo, aproximadamente un 22% de la población residente en municipios atrasados, aproximadamente un 32% de la población residente en municipios potencialmente atrasados. Por último, aproximadamente un 50% de población residente en municipios desarrollados.

De forma conjunta, el conjunto de la población analizada no presenta ninguna tendencia clara, existiendo una enorme variabilidad. A este respecto, al igual que antes la población residente en los municipios muy desarrollados son los que presentan la menor variabilidad, siendo esta variabilidad menor entre 2007-2012. De hecho, las líneas parecen avanzar de izquierda a derecha sin cruzarse unas con otras. Por tanto, al igual que sucedía con el número de municipios, también la población residente en los municipios parece seguir una tendencia mantenida al menos durante 2007-2012. Esta tendencia determina un modelo de cohesión social caracterizado siempre por el escaso número de habitantes residentes en municipios muy desarrollados, el mayor número de población residente en municipios desarrollados. Asimismo, el segundo valor mayor de población corresponde siempre a los residentes en municipios potencialmente atrasados, seguidos por el número de residentes en municipios atrasados.

Como consecuencia, el modelo de cohesión socioeconómica que más se repite es un modelo de cohesión intermedio al igual que antes, cuando analizábamos el número de municipios en función de su grado de desarrollo socioeconómico. Asimismo, este modelo se puede repetir durante los siguientes años, pues se ha ido consolidando entre 2007-2012. Si bien es cierto que precisamente ese periodo de tiempo está caracterizado por la enorme crisis económica que sufrió España. Por tanto, este modelo de cohesión puede mejorar, si se actúa sobre la población residente en los municipios considerados atrasados y potencialmente atrasados. Si los habitantes de estos mejoran su desarrollo socioeconómico, pasarán a ser habitantes que residen en municipios desarrollados. En caso contrario, si no se actúa sobre dichos municipios permanecerá este modelo de cohesión intermedio.



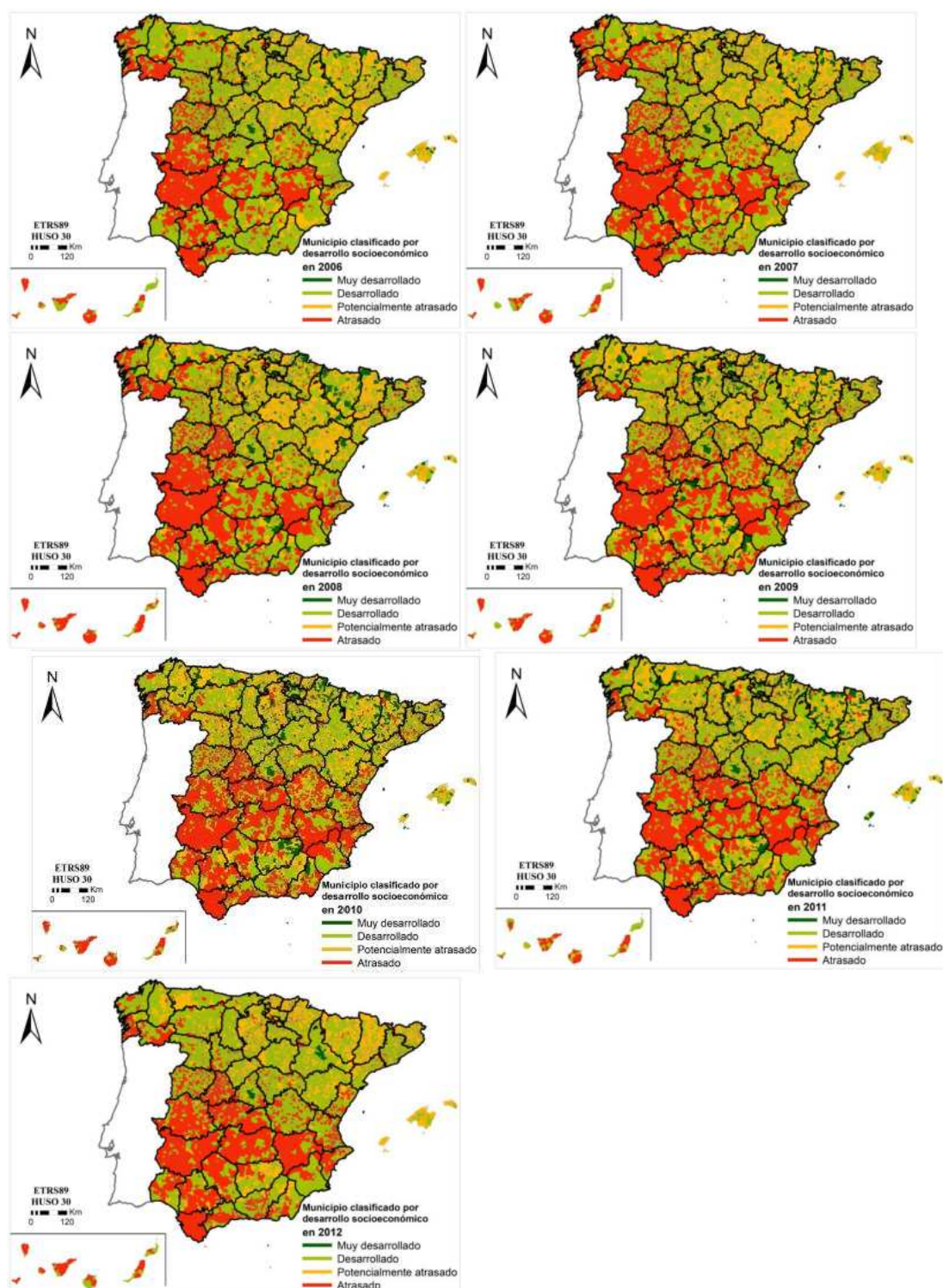


Figura 3. Mapas representativos de los municipios clasificados según su desarrollo socioeconómico entre 1998-2012.

Una vez analizadas numéricamente la evolución del número de municipios y la población residente en estos según su grado de desarrollo socioeconómico entre 1998-2012, se efectúa el análisis de la distribución territorial de los municipios. Para ello se obtiene la cartografía temática para cada uno de los años analizados de los municipios según las cuatro clases establecidas de desarrollo socioeconómico (Figura 3).

Del mismo modo, que planteábamos cuando se analizó el número de municipios y la población residente en ellos, se mantiene como criterio para evaluar la cohesión socioeconómica que existirá una mayor cohesión socioeconómica si todos los municipios pertenecen a la misma clase, descendiendo si la mayoría de los municipios perteneciera a las dos clases intermedias, siendo incluso menor la cohesión socioeconómica si la mayoría de los municipios fueran muy desarrollados o bien atrasados, para cada uno de los años analizados. No obstante, la cartografía nos permite además de analizar la autocorrelación temporal, analizar la autocorrelación espacial. En este sentido, se analizó si la clase socioeconómica de los municipios tiende a ser más parecida entre municipios próximos en el espacio que entre municipios situados lejos los unos de los otros (Gutiérrez y Gould, 1994). Este principio general, implica la existencia de un cierto orden en el espacio.

A este respecto, se aprecia como los municipios de Madrid y Barcelona siempre son considerados como muy desarrollados entre 1998-2012. De hecho, no existe una correlación espacial con los municipios próximos. De este modo, se verifica que son polos socioeconómicos a lo largo de los años analizados.

Asimismo, en el territorio peninsular español los municipios se agrupan siguiendo una pauta similar de distribución, ya que en la mitad norte predominan los municipios no atrasados y la mitad sur se caracteriza por la presencia de municipios potencialmente atrasados o atrasados. Por tanto, se confirma la histórica socioeconómica hegemonía del norte sobre el sur peninsular español. La gran mayoría de los municipios en Extremadura y en las provincias de Cádiz y Albacete a lo largo de la serie temporal analizada siempre son considerados atrasados socioeconómicamente. Por el contrario, Cataluña está compuesta por municipios que en su gran mayoría son siempre considerados muy desarrollados o desarrollados. Del mismo modo, sucede en Navarra, Álava y La Rioja. En este sentido, lo mismo podría esperarse de la Comunidad Autónoma de Madrid. Sin embargo, en el año 1999 gran parte de sus municipios son clasificados como atrasados. De igual modo ocurre en la provincia de Zaragoza, pues excepto en 1999 los restantes años muestran municipios no atrasados. Similarmente, este efecto sucede en Castellón que en su mayor parte muestra municipios desarrollados, pero en los años 2010, 2011 y 2012 también aparecen gran cantidad de municipios atrasados.

Precisamente, los municipios considerados atrasados aumentan considerablemente en 1999, produciéndose un agrupamiento en la parte suroccidental. Este agrupamiento abarca prácticamente la totalidad de los municipios correspondientes a las provincias de Cádiz, Sevilla, Badajoz, Ciudad Real, Albacete, Cáceres, Toledo, Salamanca, Ávila, Zamora, Valladolid, Palencia, Cantabria, Asturias, Lugo, Orense, La Coruña y Pontevedra.

Por otra parte, en el territorio insular español se aprecia un comportamiento distinto de los municipios en cuanto a su distribución territorial a lo largo de los años. A este respecto, en las Islas Baleares entre los años 1998- 2004 existe una agrupación de municipios muy desarrollados en la mitad occidental de Palma de Mallorca. Posteriormente, no se observa un patrón claro que se mantenga a lo largo del tiempo. No obstante, en este periodo de tiempo prácticamente son inexistentes los municipios muy desarrollados, siendo inexistentes los municipios atrasados. Además, la mayoría municipios potencialmente atrasados, existiendo algunos municipios desarrollados. Por tanto, se puede afirmar que a partir de 2005, en las Islas Baleares existe mayor cohesión socioeconómica, pero menor desarrollo socioeconómico. Respecto a las Islas Canarias a lo largo de todos los años analizados existe una predominancia de municipios atrasados. Este efecto es más acusado en los años 1998, 1999, 2009, 2010 y 2012, pues la mayoría de la extensión de estas islas aparece como territorio atrasado. Asimismo, las ciudades de Ceuta y Melilla, también fuera del territorio peninsular español, siempre responden al mismo tipo de clasificación, pues siempre se encuentran como territorios clasificados como atrasados o potencialmente atrasados alternativamente. A este respecto, ciertamente en el territorio peninsular se puede suponer que es relativamente más fácil aplicar acciones para corregir los desequilibrios socioeconómicos territoriales, Como consecuencia, es más difícil corregir estos desequilibrios en territorios españoles insulares o fuera de la Península Ibérica. En este sentido, habrá que poner el foco de atención en las Islas Canarias, Ceuta y Melilla sobre que posibles acciones correctoras de carácter más especial debido a su situación geográfica, se podrían poner en marcha en estos territorios.

CONCLUSIONES

La propuesta metodológica presentada puede servir para futuros estudios que además de analizar el territorio Español, puedan aplicarse a otros territorios. De hecho, el uso de variables socioeconómicas y la aplicación de herramientas de análisis propias de los SIG, permite identificar y clasificar los municipios según su grado de desarrollo socioeconómico. De ese modo, se pudo analizar de forma eficiente y correcta la variación socioeconómica de los municipios a lo largo de la serie temporal comprendida entre 1998-2012. Además, la cartografía temática permite analizar la distribución territorial. Como consecuencia, se puede evaluar el grado de cohesión socioeconómica entre los municipios también de forma espacial.

En cuanto a los resultados obtenidos después de analizar el número de municipios clasificados según su grado de desarrollo socioeconómico y la población residente en los mismos, se puede afirmar que si bien no existe una tendencia clara entre los años analizados existe una enorme variación entre 1999-2006. Posiblemente, factores como la crisis económica sufrida por el país ha hecho que a partir de ese año se establezca una tendencia respecto al número de municipios según su desarrollo socioeconómico y población residente. De hecho, la escasa variación del número de municipios y la población según su desarrollo económico, parece indicar que durante los años 2006-2012 se estableció un modelo socioeconómico donde eran prácticamente inexistentes los municipios muy desarrollados, existiendo predominancia de municipios desarrollados y estableciéndose con valores intermedios y prácticamente iguales la población y el número de municipios considerados potencialmente atrasados o atrasados. Este modelo socioeconómico es intermedio, proponiéndose actuar sobre los municipios atrasados que son más vulnerables y son una cantidad considerable en el conjunto nacional Español.

Se verifica además mediante la cartografía temática la histórica hegemonía del norte sobre el sur peninsular. Además, se observa como a medida que el desarrollo socioeconómico es menor la parte suroeste occidental es más vulnerable, pues aumentan considerablemente los municipios con menor desarrollo socioeconómico. Este modelo de cohesión socioeconómica en España entre 2006-2012 se puede estar consolidando y territorialmente los municipios más desarrollados se ubican en la mitad noreste peninsular y los menos desarrollados en la mitad suroeste. Por tanto, si se quiere romper esta hegemonía histórica del norte sobre el sur, habrá que actuar sobre aquellos municipios considerados atrasados o potencialmente atrasados ubicados en la mitad suroeste.

Asimismo, se muestra como algunos territorios españoles fuera de la Península Ibérica muestran una brecha socioeconómica importante respecto a los territorios peninsulares. Estos territorios debido a estas condiciones territoriales especiales, deberían acoger acciones específicas que aquellas acciones a efectuar sobre los territorios peninsulares atrasados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albertos, J. M. y Sánchez, J. L. (2014): *Geografía de la crisis económica en España*. Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones, 772 pp.
- Ayuda, M. I. Collantes, F. y Pinilla, V. (2010): From locational fundamentals to increasing returns: the spatial concentration of population in Spain 1787-2000. *Journal of Geographical Systems*, 12: 25-50.
- Bengs, C. y Schmidt-Thomé, K. (2007): *Urban-rural relations in Europe. European Spatial Planning Observation network (ESPON) 1.1.2. Final Report. ESPON 2000-2006 Programme*. Centro de Estudios Urbanos y Regionales y la Universidad de Helsinki, Luxemburgo, 482 pp.
- Bosque Sendra, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp, Madrid, 214 pp.
- Cabrero, G.R. y Hendrickson, M.A. (2011): *Servicios Sociales y Cohesión Social*. Consejo Económico y Social de España, Madrid, 24 pp.

Carpiano, R. M. (2007): Neighborjood social capital and adult healt: An empirical test of a bourdieu-based model. *Health Place*, 13: 639-655.

Catalán, B. Saurí, D. y Serra, P. (2008): Urban sprawl in the Mediterranean? Patterns of growth and change in Barcelona Metropolitan Region 1993-2000. *Landscape and Urban Planning*, 85: 174-184.

Ciegis, R. Ramanauskiene, J. y Martinkus, B. (2009): The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Engineering Economics*, 62(2): 28-37.

Chislett, W. (2008): *Spain: Going Places: Economics, Political and Social Progress, 1975-2008*. Telefónica, Madrid, 244 pp.

Fisher, M. y Nijkamp, P. (2014): *Handbook of Regional Science*. Springer, Berlín, 1732 pp.

Frank, A. Mironowicz, I. Lourenço, J. Franchini, T. Ache, P. Finca, M. Scholl, B y Grams, A. (2014): Educating planners in Europe: A review of 21st century study programmes. *Progress in Planning*, 91: 30-94.

Gutiérrez Puebla, J. y Gould, M. (1994). *SIG: Sistemas de información geográfica*. Síntesis, Madrid, 251 pp.

Etxezarreta, M. Navarro, F. Ribera, R. y Soldevila, V. (2011): Boom and (deep) crsisis in the Spanish economy: the role of the EU in its evolution. *17th Workshop on Alternative Economy Policy in Europe. Actas y Comunicaciones*. Universidad de Viena, Viena, pp. 1-33.

Fernández, A. Pedregal, B. Rodríguez, J.C. Pita M.F. y Zoido, F. (2009): El concepto de la cohesión territorial. Escalas de aplicación, sistemas de medición y políticas derivadas. *Boletín de la Asociacion de Geógrafos Españoles*, 50: 157-172.

Gutiérrez, J.A. y Jaraíz, F.J. (2007): Clasificación de los términos municipales de España a partir de variables demográficas y socioeconómicas, empleando métodos de clasificación basados en redes neuronales artificiales. *Mapping*, 15: 26-31.

Gutiérrez, J.A. Naranjo, J. M., Jaraíz, F. J. Y Ruiz, E.E.(2015): Estimación de la cohesión social en los municipios españoles tras la implantación de la alta velocidad ferroviaria. *Boletín de la Asociacion de Geógrafos Españoles*, 69: 113-138.

Halleux, A. R. Rogers, W.T. y Cattel, R. B. (2012): The adaptive efficiency of land use planning measured by the control of urban sprawl. The cases of the Netherlands, Belgium and Poland. *Land Use Policy*, 29: 887-898.

Instituto Nacional de Estadística (1998-2012): *Padrón Municipal de Habitantes*. Madrid. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t20/e245/&file=inebase>

La Caixa (1998-2012): *Anuario Económico*. Barcelona.

<http://www.anuarioeco.lacaixa.comunicacions.com/java/X?cgi=caixa.anuari99.util.ChangeLanguage&lang=esp>

Lagar, D. (2014): *Análisis espacial sobre variables socioeconómicas para la planificación estratégica de la provincia de Cáceres*. Universidad de Murcia, Murcia, 234 pp.

MacQueen, J. B. (1967): Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *5th symposium de estadística y probabilidad matemática. Actas y Comunicaciones*. Servicio de publicaciones de la Universidad de California, Berkeley, pp. 281-297.

Moreno, A. Buzai, G. y Fuenzalida, M. (2012): *Sistemas de información geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. RA-MA Editorial y Publicaciones, Madrid, 427 pp.

Naranjo, J.M. (2015): *Estimación de la cohesión social en los municipios españoles tras la implantación de la alta velocidad ferroviaria*. Universidad de Extremadura, Cáceres, 203 pp.

Naranjo, J.M. (2016): Impacts on the Social Cohesion of Mainland Spain's Future Motorway and High-Speed Rail Networks. *Sustainability*, 8(7): 624-646.

Pearce, D. Markandya, A.E. y Barbier, E. (1999): *Blueprint for a Green Economy*. Earthscan Publications Limited, Londres, 192 pp.

Reques, P. De Cos, O. y Marañón, M. (2012): Demographic and Socioeconomic Context of Spatial Development in Spain. En: De Ureña, J.M. (Ed.), *Territorial Implications of High Speed Rail. A Spanish Perspective*. Ashgate, Londres, pp. 55-83.

Rose, D. y Harrison, E. (2014): *Social Class in Europe: an introduction to the European socio-economic classification*. Routledge, New York, 324 pp.

Salvati, L. Gargiulo, V. Rontos, K. y Sabbi, A. (2013): Latent exurban development: city expansion along the rural-to-urban gradient in growing and declining regions of Southern Europe. *Urban Geography*, 34: 376-394.

Santos, J.M. y García, F. J. (2008): *Análisis estadístico de la información geográfica*. Universidad de Educación a Distancia, Madrid, 395 pp.

Serra, P. Vera, A. Tulla, A. F. y Salvati, L. (2014): Beyond urban-rural dichotomy: Exploring socioeconomic and land-use processes of change in Spain (1991-2011). *Applied Geography*, 55: 71-81.

[Servicio Estatal Público de Empleo \(1998-2012\): Encuesta de Población Activa. Madrid.](#)

https://www.sepe.es/contenidos/que_es_el_sepe/estadisticas/index.html

Unwin, D. J.(1981): *Introductory Spatial Analysis*. Methuen, London, 122 pp.

ESTIMACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD DE LAS PLATAFORMAS LOGÍSTICAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA TRAS LA CONSTRUCCIÓN DE LAS NUEVAS PLATAFORMAS EN BADAJOZ Y CAIA

José Manuel Naranjo Gómez¹ y José Antonio Gutiérrez Gallego²

¹ Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad s/n, 10003, Cáceres (España), jnaranjo@unex.es

² Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad s/n, 10003, Cáceres (España), jagutier@unex.es

RESUMEN

La construcción de las nuevas plataformas logísticas en Badajoz y Caia provocará un impacto en la accesibilidad y el abastecimiento potencial de mercancías en la Península Ibérica. Para evaluar estos efectos se analiza la accesibilidad territorial desde las plataformas logísticas a los núcleos de población peninsulares y se determina la interconexión entre el conjunto de puertos marítimos y las plataformas logísticas. A este respecto, se comparan el escenario antes de la construcción de las nuevas plataformas logísticas y otro teniendo en cuenta su futura construcción. Se analizan los tiempos mínimos de acceso de cada plataforma logística a los diferentes núcleos poblacionales, la población potencial a la que se tendría acceso desde cada una de ellas y la accesibilidad de las plataformas logísticas respecto a los puertos comerciales teniendo en cuenta el volumen de importación/exportación de estos. Este análisis se realiza mediante cartografía temática en un entorno SIG. Así, se pone de manifiesto el efecto positivo de estas nuevas infraestructuras en el suroeste peninsular abasteciendo de servicios logísticos a un enorme volumen poblacional claramente desfavorecido actualmente. No obstante, la interconexión entre las plataformas logísticas y los puertos marítimos, muestra que no se romperá el modelo de accesibilidad centro-periferia peninsular.

Palabras Clave: población, plataforma logística, puerto marítimo, accesibilidad, interconexión.

ABSTRACT

The construction of the new logistics platforms in Badajoz and Caia will cause an impact on the accessibility and the potential supply of goods in the Iberian Peninsula. In order to assess these territorial effects, it is analyzed the territorial accessibility from the logistics platforms to the Peninsular population centers and the interconnection between all sea ports and logistics platforms. In this respect, the scenario before the construction of the new logistics platforms and the future scenario taking into account their future construction is compared. It is analyzed the access minimum times from each logistics platform to different population centers, the potential population to which they would have access from each of them and the accessibility of the logistical platforms with respect to the commercial ports taking into account the volume of import/export of these. This analysis is carried out by means of thematic mapping in a GIS environment. Thus, it is revealed the positive effect of these new infrastructures in peninsular southwest peninsular supplying logistics services to a huge population volume clearly disadvantaged at present. Nonetheless, the interconnection between the logistics platforms and seaports, shows that the accessibility model will not break the peninsular center-periphery accessibility model.

Key Words: population, logistic platform, seaport, accessibility, interconnection.

INTRODUCCIÓN

Las políticas en materia logística, además de considerar las oportunidades de desarrollo económico que ofrece un territorio, deben tener en cuenta la posición de los puertos marítimos dentro de las cadenas logísticas internacionales y la conectividad con las plataformas logísticas. De hecho, un puerto marítimo y una plataforma logística no lograrán ser competitivos, a menos que dispongan de buenas conexiones que refuercen su posición. De ahí, el interés por medir la conectividad de éstos y su accesibilidad.

A este respecto, desde el tratado de Maastricht en 1992, la Unión Europea (en adelante UE) ha transformado su política de transporte en una política estructural. El objetivo es lograr un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Una de las claves de la UE en este sentido, es la modernización de las infraestructuras para lograr una mayor interconexión e integración de los territorios que la conforman. Estas conexiones deben mejorar la libre circulación de mercancías en dicho territorio, aumentando la competitividad a través de las redes transeuropeas según el Comisión Europea (2010). A estas políticas se les une el Mecanismo Conectar Europa establecido por la Comisión Europea (2013), que pretende acelerar la inversión en el ámbito de dichas redes transeuropeas para maximizar la eficacia de la intervención de la UE en la optimización de costes de ejecución en este tipo de infraestructuras.

Considerando todas estas premisas, el Ministerio de Fomento español (2013) elaboró en un Plan de Estrategia Logística (PELE) que contempla dos objetivos fundamentales: 1) aumentar la competitividad de la industria y la economía a través de una red intermodal segura y eficiente, con la que potenciar el papel de España como centro logístico de mercancías y 2) potenciar el papel de España como puerta de entrada, centro de tratamiento y distribución de mercancías intercontinentales para Europa.

Las actuaciones en materia de logística de transporte de mercancías se contemplan en el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI, 2012) del Ministerio de Fomento (2012), el cual recoge 18 actuaciones prioritarias, entre las que destacan el impulso de la liberalización del transporte ferroviario de mercancías, la puesta en servicio de autopistas ferroviarias, el incremento de competitividad en los puertos, o la determinación del mapa logístico de España, entre otras.

De forma análoga al caso español, el Ministerio das Obras Públicas (2008) en Portugal contempla en su Plan Estratégico 2014-2016, el Plan Portugal Logístico, con dos objetivos prioritarios: 1) desarrollar el sistema logístico, fomentando su posicionamiento geoestratégico privilegiado en relación con las rutas transcontinentales del Atlántico, y superar el efecto periferia con respecto al continente europeo y 2) racionalizar/optimizar las cadenas de transporte, cada vez más complejas y dependientes de las nuevas tecnologías de información.

Aunando los objetivos planteados por los gobiernos español y portugués en sus estrategias logísticas de transporte, estos se comprometieron en la Cumbre Ibérica (Oporto, 2012) a impulsar la conexión ferroviaria de mercancías Sines-Lisboa-Caia-Badajoz-Madrid-Irún (el llamado “Eje 16”), para conectar y distribuir las mercancías llegadas a Sines con el resto de puntos de esta red, favoreciendo además las exportaciones de ambos países al resto de Europa de un modo más eficiente.

Una de las iniciativas para impulsar este Eje 16 es la implantación de las plataformas logísticas del Suroeste Europeo, ubicadas en la ciudad española de Badajoz y el núcleo portugués de Caia. Este complejo logístico intermodal permitirá acoger buena parte del tráfico de mercancías que circula por el arco Atlántico y todo el tráfico que tiene origen/destino en Europa Occidental. Además servirá de centro de distribución de mercancías para las principales ciudades europeas, como alternativa a Algeciras y Rotterdam.

Este trabajo plantea una metodología con la que analizar las repercusiones provocadas por la construcción de las Plataformas Logísticas del Suroeste Europeo, en términos de accesibilidad e interconexión con el resto de los nodos del Eje 16 y la población residente en la Península Ibérica. Así, se evaluó mediante la accesibilidad que proporcionan las infraestructuras de transporte la conectividad desde las plataformas logísticas a los puertos marítimos y desde las plataformas logísticas a los núcleos de población en cada una de las partes del territorio. Asimismo, se valoró la localización de las plataformas logísticas respecto la distribución

territorial de la población. De ese modo, se ofrece una metodología como herramienta de planificación en los procesos de toma de decisiones ligados al transporte logístico en la Península Ibérica.

A este respecto, se determina la distribución territorial de las variables utilizadas: 1) tiempo de acceso de los puertos a las plataformas logísticas y de las plataformas logísticas a los núcleos de población, 2) población, 3) volumen de importación/exportación de cada plataforma logística. En este sentido, el tiempo de acceso de los puertos a las plataformas logísticas permite caracterizar el territorio en diferentes grados de accesibilidad. Además, el uso de la población permite jerarquizar las plataformas logísticas en función de la población a la que pueden acceder desde ellas. Por último, el uso del volumen de importación/exportación determina que plataformas logísticas se consideran más importantes, para medir el grado de interconexión entre puertos comerciales y plataformas logísticas.

Concretamente, los objetivos planteados en este estudio son: 1) analizar la accesibilidad territorial desde las plataformas logísticas a los núcleos de población peninsulares, y 2) determinar la interconexión entre el conjunto de los puertos y plataformas logísticas. En ambos casos, se realiza una comparativa entre dos escenarios temporales: uno previo a la construcción de las Plataformas Logísticas del Suroeste Europeo (Badajoz y Caia), y un segundo considerando dichas infraestructuras.

Para cumplir con los objetivos concretos, se plantea la siguiente hipótesis de partida: las nuevas infraestructuras logísticas planteadas en los planes español y portugués, mejorarán el abastecimiento potencial de mercancías en todo el territorio peninsular.

El área de estudio para aplicar esta metodología es el territorio peninsular, por ser este el ámbito de actuación de los planes logísticos de España y Portugal. Asimismo, se opta por tratar información desagregada a nivel local, con información referida a poblaciones de más de 1000 habitantes.

ANTECEDENTES

La accesibilidad provocada por las infraestructuras de transporte es analizada de forma frecuente por SIG, en diversos campos científicos. En este sentido, se aporta una revisión conjunta de indicadores de accesibilidad y el uso de estos en SIG aplicados al transporte logístico.

Indicadores de accesibilidad

El concepto de accesibilidad nació en 1950 (Geurs et al., 2012), es de gran utilidad en diferentes campos (planificación del transporte, urbana y regional), y ha ido tomando gran variedad de significados a lo largo de los años. Aunque no existe una única definición consensuada (Gould, 1969), todas califican a la accesibilidad como una medida de separación de las actividades o asentamientos humanos conectados mediante un sistema de transportes determinado (Sherman et al., 1974). Algunos de los elementos comunes en las diferentes definiciones de accesibilidad y sus medidas son: 1) analiza la distribución de las distintas localizaciones en el territorio, midiendo la separación entre dos o más puntos (Ingram, 1971) o cómo la probabilidad de desplazamiento entre estos disminuye a medida que aumenta su separación (Levinson, 1998); 2) opera sobre el sistema de transporte, permitiendo salvar la distancia entre dos puntos con un coste determinado (Morris et al., 1979); 3) determina la utilidad de las diferentes localizaciones, según las posibilidades que ofrece cada destino potencial a la hora de satisfacer las necesidades de los ciudadanos, las empresas y/o los servicios públicos (Makri y Folkesson, 1999); y 4) evalúa la posibilidad potencial de que los habitantes de un determinado territorio puedan participar en actividades específicas en otros lugares, añadiendo consideraciones sociales y económicas. Así es posible cuantificar los beneficios netos de un lugar específico, según su localización, nivel de utilización de la red de transporte y beneficio resultante derivado del impacto social y económico (Domanski, 1979; Geurs y Ritsema, 2001).

La accesibilidad se cuantifica mediante una gama amplia de expresiones matemáticas, que conlleva una no menos amplia lista de clasificaciones de indicadores derivados (Morris et al., 1979; Geurs y Ritsema, 2001). Destaca la realizada por Curtis y Scheurer (2010): 1) medidas de separación espacial, miden el grado de separación entre un origen y un destino (Baradaran y Ramjerdi, 2001); 2) medidas de contorno, calculan el número de oportunidades alcanzables por un número de residentes, dentro de un tiempo de viaje o distancia determinados (Geurs y Ritsema, 2001; Bhat et al., 1999); 3) medidas de gravedad, clasifican la importancia de las oportunidades a alcanzar entre los individuos en un tiempo de acceso determinado, basándose en la fuerza de atracción de dichos destinos y la fricción de la red de transporte ofertada; 4) medidas de competencia, representan el número de usuarios potenciales de uno o varios servicios y el número de servicios que pueden ser utilizados por los residentes de otros territorios; 5) medidas de tiempo y espacio, centradas en la asignación de tiempos o rutas a los usuarios de uno o varios modos de transporte; 6) medidas de utilidad, que determinan el beneficio obtenido por los usuarios del sistema de transporte cuando alcanzan otro destino y pueden realizar allí una actividad; y 7) medidas de red, con las que conocer cuáles son los recorridos más óptimos a realizar dentro de la red de transportes.

En la planificación de infraestructuras, el análisis mediante indicadores de accesibilidad como los descritos anteriormente, es una temática recurrente en numerosos trabajos de investigación porque ayudan a explicar de forma lógica las interrelaciones entre las actividades humanas (Brocard, 2009).

SIG-T y accesibilidad

Los análisis de los sistemas de transporte mediante SIG y utilizando indicadores de accesibilidad, cada vez han sido más populares. Desde 1999 disponen de su propio acrónimo SIG-T (Miller, 1999). Estos constituyen potentes instrumentos para la modelización y visualización de la accesibilidad (Thill, 2009), pues permiten desarrollar medidas de accesibilidad cada vez más complejas y desagregadas (Geurs et al., 2015).

En este sentido, uno de los temas centrales de investigación en los estudios de transporte desarrollados con SIG-T, ha sido el estudio de la interacción entre los sistemas de transporte y el uso del suelo (Kasraian et al., 2016; Gutiérrez et al., 2013; Rodríguez y Gutiérrez, 2012). No obstante, son más escasos los estudios centrados en el análisis del transporte de mercancías. A este respecto, a escala internacional destacan aquellos estudios que pretenden optimizar el coste de los flujos de transporte (Southworth y Peterson, 2000; Miller y Shaw, 2015). Asimismo, dentro de aquellos estudios que se desarrollan en un ámbito nacional sobresalen los destinados a analizar el área de mercado de los centros de transporte y los costes de los transportes (Tsekeris, 2016; Maroto y Zofío, 2015). Dentro del ámbito regional son reseñables los trabajos que evalúan el impacto de la accesibilidad como factor clave para la ubicación de instalaciones dedicadas al transporte de mercancías (Africani et al., 2016; Verhetsel et al., 2015; Carteni, 2014). Del mismo modo, a escala local adquieren importancia los estudios que tratan la consolidación de los centros de transporte en la ciudad (Chen et al., 2006; Olsson y Woxenius, 2014).

Sin embargo, las principales investigaciones centran su foco en la cadena de suministro y su gestión. No obstante, este trabajo analiza las repercusiones provocadas por la construcción de dos nuevas plataformas logísticas, en términos de accesibilidad e interconexión, analizando la distribución territorial de la población, los puertos marítimos y las plataformas logísticas. Además, se tiene en cuenta la importancia de cada plataforma logística, en función de su volumen de importación/exportación. De ese modo, se ofrece un análisis de la relación entre el transporte de mercancías, las infraestructuras de transporte y la población residente en los núcleos urbanos. Asimismo, este análisis se realiza antes de la construcción de las dos nuevas plataformas logísticas y después de su construcción. De esa forma, puede resultar muy útil para todos aquellos agentes relacionados con el transporte de mercancías en España.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio fue la Península Ibérica, por ser el ámbito de actuación de los gobiernos español y portugués en materia logística. En este sentido, se han utilizado las redes de carretera y ferrocarril para el transporte de mercancías: 1) antes de la construcción de nuevas autovías, líneas de ferrocarril, y antes de la construcción de las plataformas logísticas en Caia y Badajoz, en 2012; 2) asimismo, se han analizado las nuevas redes de carreteras y ferrocarriles, y la posterior construcción de las plataformas logísticas, en 2024 previstas en el PITVI. De ese modo, se considera la dimensión temporal desde 2012 hasta el año 2024, donde finalizarán las actuaciones previstas en los planes de infraestructuras de ambos gobiernos. En este sentido, se midió el impacto conjunto de esas dos nuevas plataformas y las actuaciones del PITVI en las redes de transporte.

MÉTODOLOGÍA

En este estudio se utilizan diferentes fuentes de información: 1) Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI), 2) Rede de Comboios, 3) Plan de Estrategia Logística (PEL), 4) Asociación de Centros de Transporte (ACTE) 5) el Instituto da Mobilidade e dos Transportes portugués 5) Instituto Nacional de Estadística español 6) Instituto Nacional de Estadística portugués.

Respecto a las redes de transporte se utilizaron las carreteras y ferrocarriles, tanto de España como de Portugal. Así, se tuvieron en cuenta las redes de transporte actuales (Figura 1) y las que se prevén construir en los distintos planes de infraestructuras de los diferentes países (Figura 2).



Figura 1. Situación de la red viaria en 2015.



Figura 2. Situación de la red viaria en 2024 tras el desarrollo de los planes de infraestructuras español (PITVI) y portugués.

De este modo, en España se tomó como fuente de información el PITVI desarrollado por el Ministerio de Fomento español que muestra las carreteras y ferrocarriles que se pretenden construir hasta 2024. En el caso de Portugal, se obtuvieron los nuevos ferrocarriles de la Rede de Comboios y las nuevas carreteras del Ministerio de Fomento portugués que se pretenden construir hasta 2020. A este respecto, la información que se utilizó en estas redes de transporte fue: 1) la longitud de cada tramo, 2) la velocidad máxima permitida, 3) la impedancia o resistencia al tránsito (medida en minutos de viaje).

Asimismo, el PEL desarrollado por el Ministerio de Fomento español y el Instituto Nacional de Estadística portugués, permitieron la identificación de 22 puertos marítimos españoles y 10 portugueses. La información utilizada de cada puerto en el análisis fue el volumen de importaciones y exportaciones soportado.

Además, la ACTE y el Instituto da Mobilidade e dos Transportes portugués, muestran 45 plataformas logísticas, entre ellas 31 españolas y 14 portuguesas. La información utilizada de cada plataforma fue la superficie que se prevé tendrá en el año 2020. A este respecto, señalar que además de las plataformas logísticas consideradas en este estudio (Caia y Badajoz) se van a construir más plataformas logísticas.

Los institutos nacionales de estadística español y portugués, suministraron la información sobre los núcleos de población. A este respecto, no se consideraron aquellos menores de 1000 habitantes, ya que constituyen escasamente el 9% de la población. Obviamente, la información utilizada para cada núcleo de población fue el número de residentes en el año 2015.

A partir de los datos señalados anteriormente, diferentes bases de datos se generan, una para cada capa de información: 1) red viaria compuesta por ferrocarriles y carreteras, 2) puertos comerciales, 3) plataformas logísticas y 4) núcleos de población. Esta información alfanumérica se asocia a cada elemento gráfico mediante un Sistema de Información Geográfica. En el caso de las redes de carreteras y ferrocarriles, estas líneas tienen asociada la impedancia en cada tramo. Los puertos se representan gráficamente como puntos y se les asocia el nombre de cada puerto y el volumen de importación/exportación. Igualmente, mediante puntos se representan las plataformas logísticas, se las identifica con su nombre. Del mismo modo se representan los núcleos de población, se les identifica con su nombre y se les asigna la población residente.

Posteriormente, se determina el tiempo de desplazamiento, calculado en minutos, desde una plataforma logística a todos puertos. Este procedimiento se repite para todas las plataformas. Del mismo modo, se determina el tiempo de desplazamiento, también calculado en minutos, desde cada plataforma logística a todos los núcleos de población. Al igual que antes, se repite este procedimiento para todas las plataformas logísticas.

A este respecto, el cálculo del tiempo de desplazamiento desde cada puerto a las plataformas logísticas se determina mediante una red bimodal formada tanto por carreteras, como por ferrocarriles. Sin embargo, para el cálculo del tiempo desde cada plataforma logística a los núcleos de población, se utilizó únicamente la red de carreteras. Debido a que es la red de transporte más utilizada cuando se pretende alcanzar a los consumidores finales.

Precisamente, los tiempos de desplazamiento obtenidos desde cada plataforma logística a los núcleos de población permiten identificar que plataformas logísticas son las más accesibles. De ese modo, se pueden determinar diferentes grados de accesibilidad a las plataformas logísticas desde todos los núcleos de población analizados.

La expresión para calcular este parámetro es la siguiente:

$$TAM_i = \min(IR_{ij}) \forall_j$$

Donde TAM_i es el índice de tiempos mínimos asignado a cada plataforma logística. A este respecto, IR_{ij} corresponde al tiempo de desplazamiento desde una plataforma logística (i) a un núcleo de población (j). Este tiempo se calcula para el desplazamiento desde cada plataforma logística (i) a todo el conjunto n de núcleos de población existentes (j). De ese modo, $\min(IR_{ij})$ hace referencia al valor mínimo de todos los tiempos calculados.

En segundo lugar, se calcula la población potencial a la que se puede acceder desde cada plataforma logística (i) con un tiempo máximo de desplazamiento (IR_{ij}) igual a 4,5 horas. De ese modo, en función de la distribución territorial de las distintas plataformas logísticas, los diferentes núcleos peninsulares y su población residente clasificaremos las plataformas según la población potencial a la que acceden. A este respecto, se aplica una restricción de 4,5 horas como tiempo máximo de viaje, pues es el tiempo máximo de conducción ininterrumpida en España según el reglamento 561/2006 establecido por la Comisión Europea (2006). La expresión para el cálculo de los potenciales es la siguiente:

$$PP_i = \sum_j P_j : IR_{ij} < 4,5 \text{ horas}$$

Donde PP_i es el índice de potencial poblacional, mientras que P_j es la población residente en cada núcleo que se encuentra a 4,5 horas de la plataforma logística más cercana.

En tercer lugar, se determinan los tiempos medios ponderados de las plataformas logísticas o indicador de accesibilidad absoluta (IAA_j) (Vickerman, 1991). Se trata de calcular la media ponderada del tiempo mínimo que separa cada plataforma logística con respecto a los diferentes puertos, considerando el volumen de importación/exportación de los puertos como factor de ponderación. De ese modo, se mide el grado de interconexión de cada plataforma logística con los puertos marítimos peninsulares más importantes.

$$IAA_j = \frac{\sum_{i=1}^n (IR_{ij} * R_{CAE_i})}{\sum_{i=1}^n R_{CAE_i}}$$

En esta expresión IAA_j es el tiempo medio ponderado del nodo j , correspondiente a una plataforma logística, IR_{ij} es la impedancia (tiempo mínimo de desplazamiento) a través de la red de transporte entre los nodos i (origen) que serían los puertos combinando el transporte bimodal

(carretera y ferrocarril) y j (destino) que serían las plataformas; $RCAE_i$ es el volumen de importación y exportación de cada puerto.

En los tres cálculos se contemplan los dos escenarios previstos: previo a la construcción de las plataformas del Suroeste Europeo (Badajoz y Caia), y una vez construidas ambas. Así se puede analizar cómo afectan estas nuevas dotaciones al territorio objeto de estudio comparando resultados. Para agilizar dicha comparativa y detectar posibles afecciones territoriales de las variables analizadas, se generan finalmente mapas temáticos que representan los resultados obtenidos. Estos mapas se realizan mediante entornos SIG, asociando los datos devueltos por los cálculos realizados a la información cartográfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados más representativos del estudio y la discusión, comparando el escenario actual con el previsto tras la implantación de las nuevas plataformas de Badajoz y Caia.

En cuanto a los tiempos mínimos de acceso a las diferentes plataformas (Figuras 3,4 y 5), se observan variaciones territoriales interesantes.

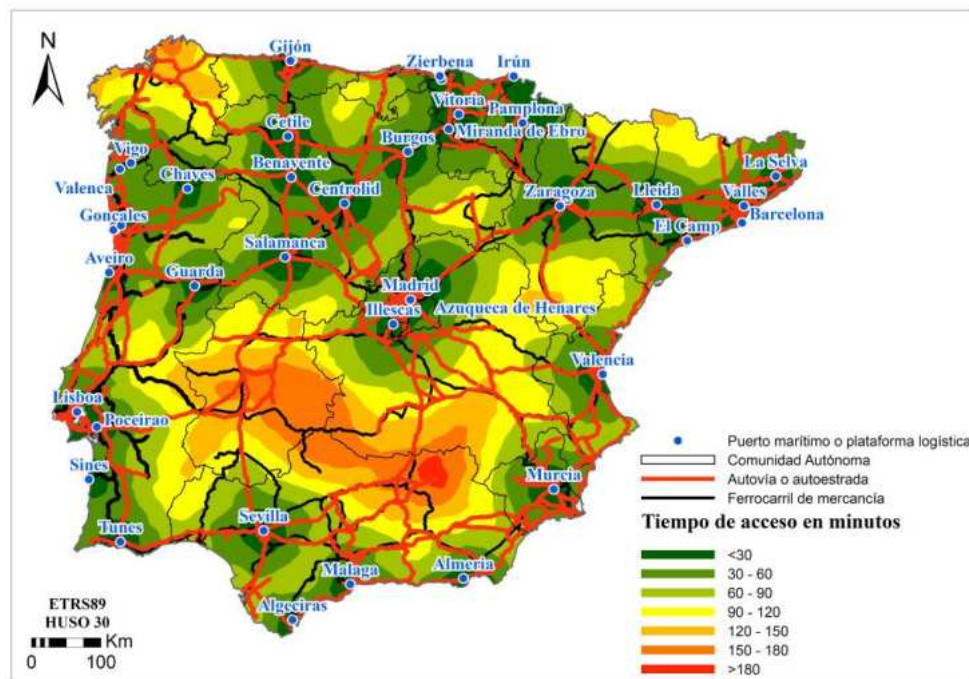


Figura 3. Tiempos mínimos de acceso de las plataformas logísticas a los núcleos de población en el escenario actual.

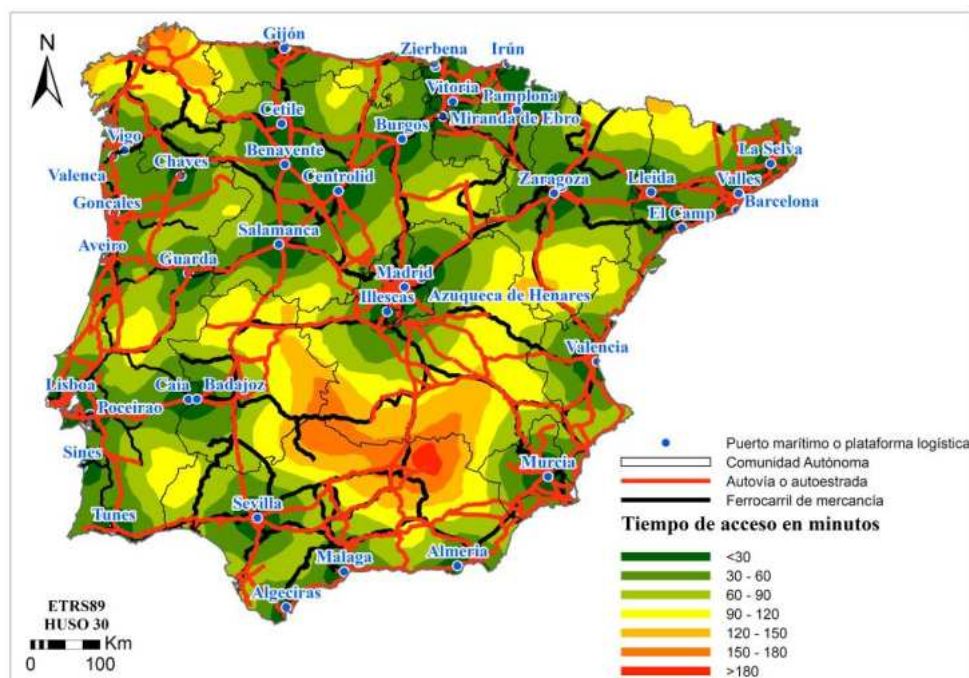


Figura 4. Tiempos mínimos de acceso de las plataformas logísticas a los núcleos de población en el escenario futuro.

Destaca la buena accesibilidad de la mitad norte peninsular (Figura 3), donde el 70% del territorio dispone de una plataforma a menos de 1 hora. Con respecto a la mitad sur, quizá el cambio más destacado sea la reducción del tamaño de la “isla” más desfavorecida, la zona centro-sur española (zona de Badajoz-Córdoba-Bailén).

Tras la implantación de las nuevas plataformas se observa una mejora patente de los tiempos de acceso en su margen oeste (Figura 4). Esto redunda en una mejor conexión entre Lisboa, Badajoz y Sevilla (se pasa de 100-180 minutos en el acceso a estas infraestructuras, a un tiempo máximo de 90 minutos). Las plataformas de Badajoz y Caia también mejoran la conexión entre Lisboa y Coria-Salamanca-Valladolid. El resto permanece sin cambios.

Respecto a los potenciales de población accesibles desde cada plataforma logística (Figuras 5, 6 y 7).

El mapa representativo del escenario en 2015 (Figura 5), muestra una clara jerarquización de las plataformas logísticas, según la cantidad de población que acogen en un tiempo inferior a 4,5 horas de acceso. Asimismo, se observa una mejora en el abastecimiento potencial de mercancías a la población cercana (población residente a menos de 4,5 horas) a las nuevas plataformas del suroeste Europeo (Figura 6).



Figura 5. Población potencial accesible a 4,5 horas desde las plataformas logísticas en el escenario actual.

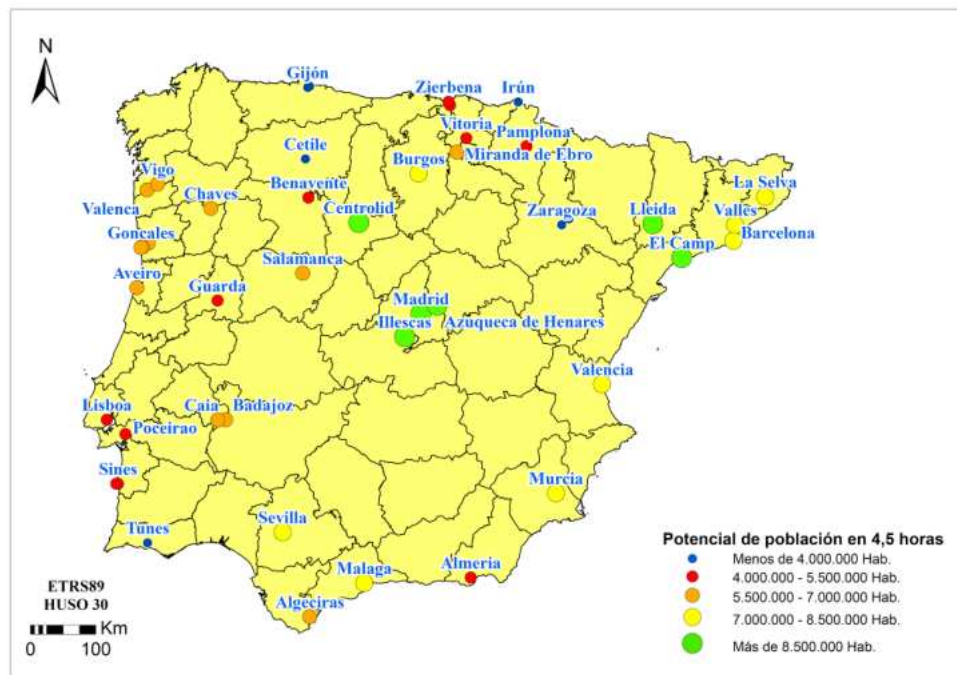


Figura 6. Población potencial accesible a 4,5 horas desde las plataformas logísticas en el escenario futuro.

A este respecto, las futuras plataformas logísticas presentarán rangos de población de atracción comprendidos entre los 5,5 millones y 7 millones de habitantes (Figura 6). Estos potenciales le confieren a dichas plataformas un elevado grado de importancia, muy por encima de la media ibérica (según la figura 7, Badajoz-Caia ocuparía el 15º puesto del ranking, a no mucha diferencia de ZAL de Barcelona, que ocupa el 8º puesto).

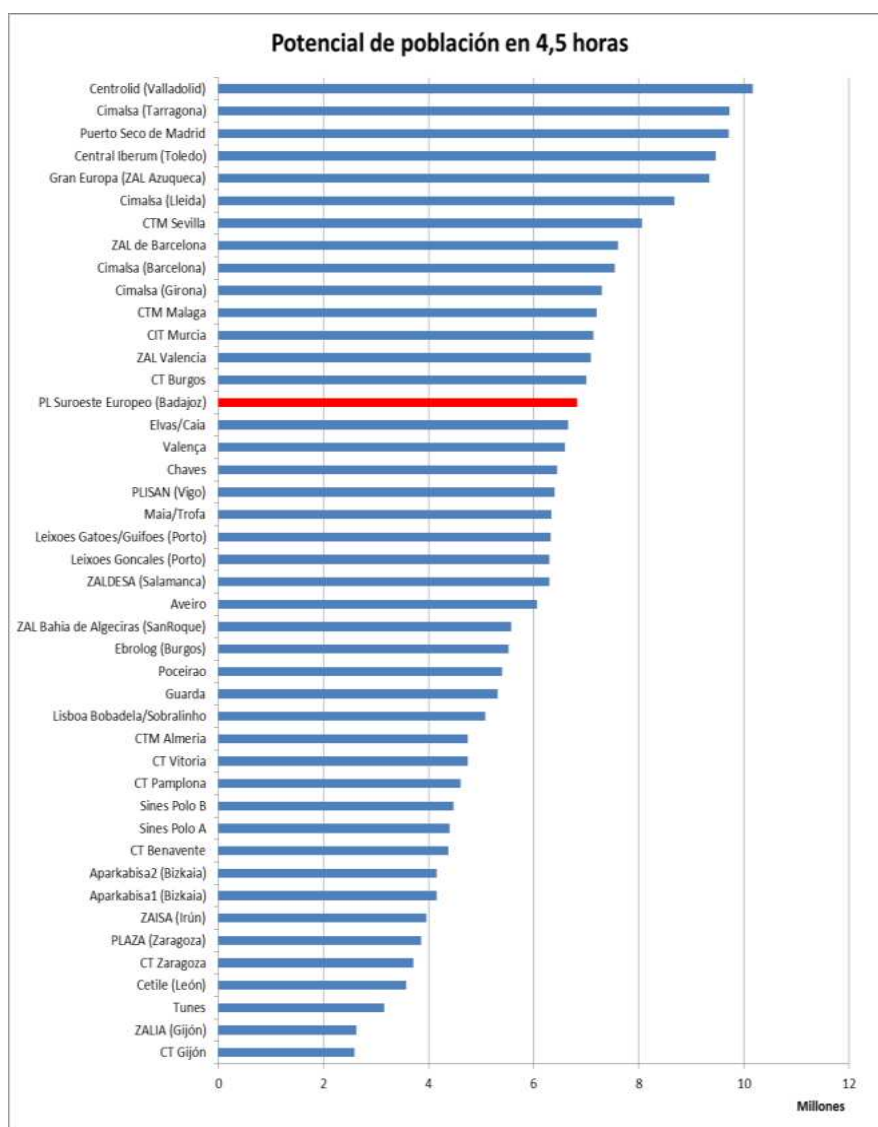


Figura 7. Diagrama de potenciales poblacionales accesible a 4,5 horas por cada plataforma logística en el escenario 2024.

La justificación de este elevado potencial radica en la cercanía de importantes núcleos poblacionales como Coimbra, Lisboa, Évora, Sines, Huelva o Sevilla, a la que se le une la población residente en el propio Badajoz (esto hace que las plataformas del suroeste Europeo tengan un mayor potencial atractor que por ejemplo, la plataforma de Zaragoza, aun siendo esta última la más importante a nivel nacional y una de las destacadas a nivel europeo). A todo ello hay que añadir el hecho de que la incorporación de estas nuevas plataformas en Badajoz y Caia, parecen redundar en una mejora clara en las conexiones a nivel peninsular entre España y Portugal, en lo que a trasvase de mercancías se refiere (a tenor de las figuras vistas anteriormente).

El cálculo de los tiempos medios ponderados (Figuras 8 y 9), permite clasificar las plataformas logísticas con muy buena, buena, normal, mala o muy mala accesibilidad, respecto a los puertos.

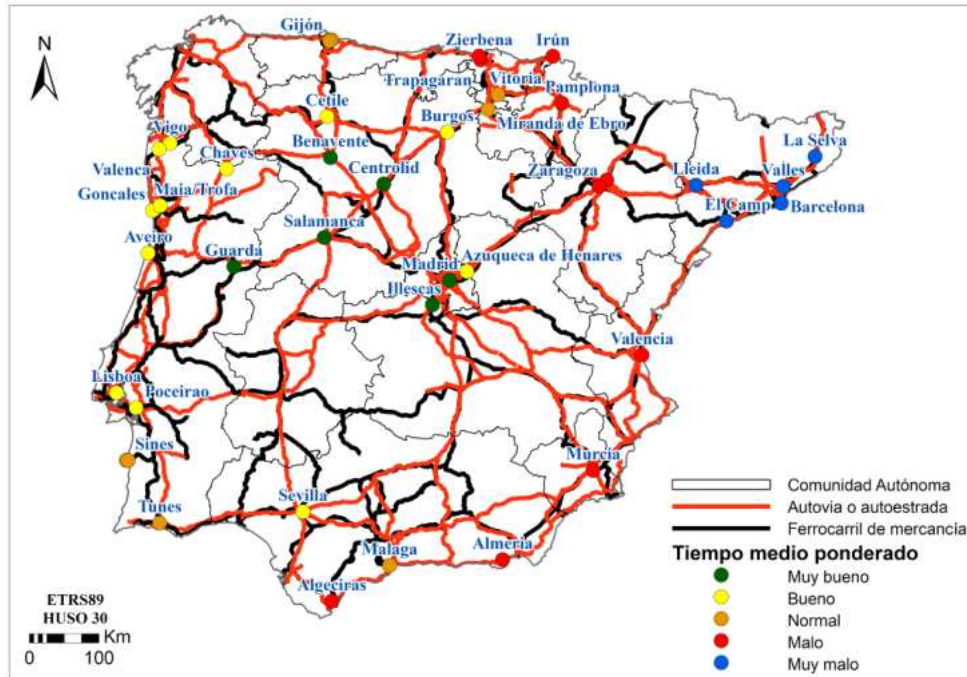


Figura 8. Tiempo medio ponderado de las plataformas logísticas a los puertos en el escenario actual.

Esta clasificación se realizó mediante intervalos equivalentes, dividiendo el rango de valores de los tiempos medios ponderados de las plataformas en sub-rangos de igual tamaño, para clasificar el tiempo medio ponderado de cada plataforma como muy bueno, bueno, normal, malo y muy malo, respectivamente. Así, se pueden comparar unas plataformas logísticas con otras, en función de la accesibilidad de cada una de ellas y determinar tanto en el escenario actual, como en 2024 cuales son y serán, las plataformas con mayor y menor accesibilidad.

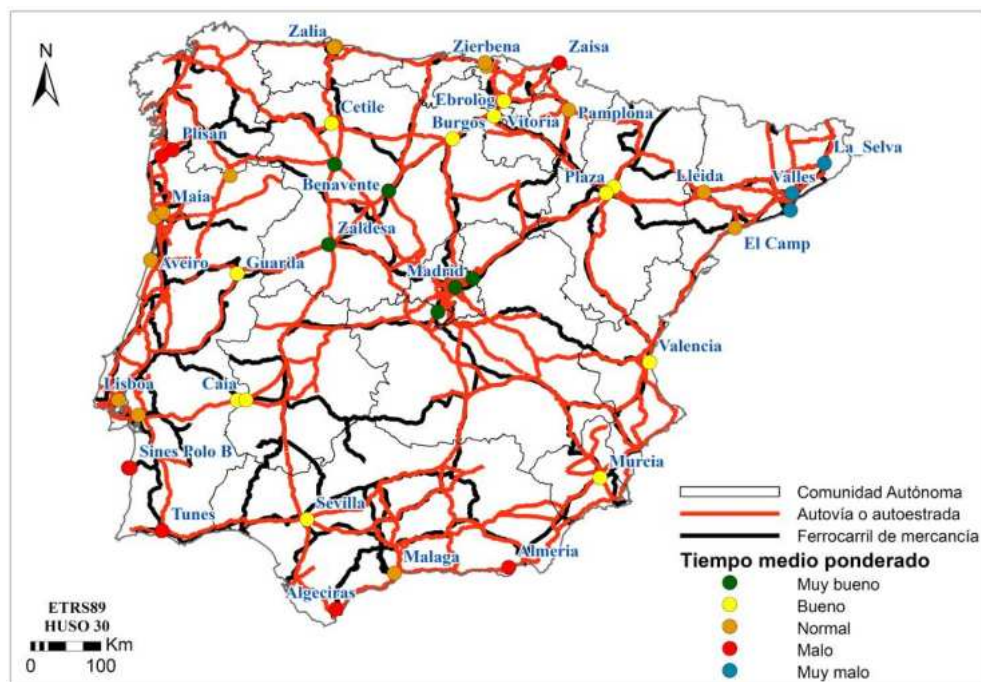


Figura 9. Tiempo medio ponderado de las plataformas logísticas a los puertos en el escenario futuro.

La clasificación realizada en el caso del escenario actual y futuro es la misma. Así, se logra mostrar que tanto en el escenario actual y como en el escenario futuro; las plataformas situadas en el centro de la Península Ibérica disponen de una mejor accesibilidad, representándose un modelo centro-periferia. Madrid y sus alrededores, dispone y dispondrán de los mayores niveles de accesibilidad absoluta (Figuras 8 y 9), por estar ubicados en el centro peninsular, descendiendo los valores de forma concéntrica. Por tanto, la incorporación de las nuevas plataformas en Caia y Badajoz, no romperá este modelo de accesibilidad centro-periferia. En cuanto a la plataforma logística situada en Badajoz, esta dispondrá en el futuro de una buena accesibilidad absoluta. De hecho, quedará englobada en la segunda posición en la clasificación realizada en el mapa (Figura 9). Además, la incorporación de las nuevas plataformas logísticas hace que las situadas al oeste precisamente de Caia y Badajoz, es decir, todas las de Portugal y Vigo en España, pasen en 2024 a niveles de clasificación en accesibilidad absoluta inferiores. Las plataformas situadas en el sur permanecerán invariables. Sin embargo, algunas plataformas más orientales (Murcia, Valencia, El Camp) se trasladarán a un nivel de accesibilidad superior, por la mejora en la interconexión con los importantes puertos portugueses de Lisboa y Sines. También destaca, la mejora del nivel de clasificación para las plataformas situadas en Lleida y El Camp. Respecto a la parte norte ninguna plataforma pasa a tener menor nivel de accesibilidad en el futuro, sino que en todo caso, mejorarán su clasificación las situadas en Vitoria, Miranda de Ebro y Zaragoza.

CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados más destacados de este estudio, se muestran a continuación algunas conclusiones destacadas que se obtienen al respecto.

La primera conclusión es que la metodología utilizada permite detectar la distribución territorial de aquellas variables más utilizadas para este tipo de trabajos. Estas variables son el tiempo de acceso desde los puertos marítimos a las plataformas logísticas y de las plataformas logísticas a la población, el volumen de importación/exportación de los puertos comerciales y la población residente en los núcleos de población.

A nivel más específico del estudio, se puede afirmar que la accesibilidad del suroeste peninsular con la construcción de las nuevas plataformas planteadas tras la Cumbre Ibérica, beneficia claramente a dicho área territorial, abasteciendo de servicios logísticos a un volumen poblacional claramente desfavorecido actualmente.

El hecho además de considerar a estas nuevas plataformas como nexos de unión de servicios a nivel europeo, hace que este territorio mejore sus conexiones con los ejes atlántico y mediterráneo, junto al nexo con Francia y Europa a través de los corredores peninsulares. A esto hay que añadirle el hecho de que la UE pretende priorizar la construcción de infraestructuras ferroviarias (entre ellas la línea Évora-Elvas), a lo que hay que añadir la finalización de la ampliación del Canal de Panamá y el puerto de Sines. Este puerto previsiblemente será la puerta a Europa de las mercancías de gran parte de los buques que discurran por el Canal de Panamá. El enorme impacto que producirá este hecho, supondrá un factor dinamizador en el desarrollo de aquellas regiones cercanas que sepan aprovechar esta oportunidad de desarrollo. Por este motivo, estas nuevas dotaciones ofrecen una oportunidad de desarrollo a nivel europeo a regiones como Alentejo, Región Centro y Extremadura (zonas con ciertas deficiencias de desarrollo socioeconómico), directamente relacionada con la construcción de las nuevas plataformas.

La construcción de estas plataformas serviría para que alrededor 1 millón de personas se beneficiaran directamente de la misma y vieran aumentadas sus oportunidades laborales y económicas, vinculadas directa o indirectamente con este tipo de actividades logísticas.

En cuanto al grado de interconexión entre las plataformas logísticas y los puertos marítimos determinados por el indicador de accesibilidad absoluta, se pone de manifiesto que la implantación de las nuevas plataformas logísticas y nuevas infraestructuras viarias, no romperá el modelo de accesibilidad centro-periferia peninsular, posiblemente debido al sistema radial que presentan las infraestructuras viarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Africani, A., Delpiano, R., Drewello, H., Fontanili, A., Huspechebeck, M. y Taake, D. (2016): Comparative Analysis of Accessibility for Freight Transport in Corridor Regions: Results of Two Case Studies. En: H. Drewello y B. Scholl (Ed.), *Integrated Spatial and Transport Infrastructure Development*. Springer International Publishing, Cham, pp. 133-146.
- Baradaran, S., y Ramjerdi, F. (2001): Performance of accessibility measures in Europe. *Journal of transportation and statistics*, 4 (2/3): 31-48.
- Bhat, C., Carini, J., y Misra, R. (1999): Modeling the generation and organization of household activity stops. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1676 (19): 153-161.
- Brocard, M. (2009): *Transports et territoires: Enjeux et débats*. Ellipses, París, 188 pp.
- Cartenì, A. (2014): Accessibility Indicators for Freight Transport Terminals. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39 (11):7647-7660.
- Chen, H., Labadi, K. y Amodelo, L. (2006): Modeling, Analysis and Optimization of Logistics Systems Petri Net Based Approaches. *3er IEEE International Conference on Service Systems and Service Management*. Institute of Electrical and Electronic Engineers, University of Technology of Troyes, Troyes, pp. 575-582.
- Comisión Europea (2006): *Relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) n° 3821/85 y (CE) n° 2135/98 del Consejo y se deroga el Reglamento (CEE) n° 3821/85 del Consejo*. Reglamento 561/2006 de 15 de marzo de 2013. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo. 13 pp.
http://fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/INFORMACION/NORMATIVA/r_561_2006-pdf.htm
- Comisión Europea (2010): *EUROPA 2020. Una Estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 40 pp.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52010DC2020>
- Comisión Europea (2013): *Mecanismo «Conectar Europa»*. Reglamento 1316/2013 de 11 de diciembre de 2013. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 143 pp.
<https://www.boe.es/doue/2013/348/L00129-00171.pdf>
- Curtis, C., y Scheurer, J. (2010): Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning*, 74 (2): 53-106.
- Domanski, R. (1979): Accessibility, efficiency, and spatial organization. *Environment and Planning A*, 11 (10): 1189-1206.
- Geurs, K.T., Kevin, J., y Reggiani, A. (2012): Accessibility analysis and transport planning: an introduction. En: A. Reggiani (Ed.), *Accessibility Analysis and Transport Planning. Challenges for Europe and North America*.

Nectar, Cheltenham, pp. 1-14.

Geurs, K.T., Montis, A. y Reggiani A. (2015): Recent advances and applications in accessibility modelling. *Computers, environment and urban systems*, 49: 82-85.

Geurs, K.T., y Ritsema, J. (2001): *Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact*. Universidad de Utrech, Utrech, 265 pp.

http://www.rivm.nl/en/Documents_and_publications/Scientific/Reports/2001/juni/Accessibility_measures_review_and_applications_Evaluation_of_accessibility_impacts_of_land_use_transportation_scenarios_and_related_social_and_economic_impact?sp=cml2bXE9ZmFsc2U7c2Vhc mNoYmFzZT01NTA0MDtyaXZtcT1mYWxzZTs=&pagenr=5505

Gould, P. R. (1969): *Spatial Diffusion Association of American Geographers*. Association of American Geographers, Washington, 80 pp.

Gutiérrez, J.A., Labrador E.E., Cabanillas, F.J. y PÉREZ, J.M. (2013): Diseño de un modelo de asignación de viajes con aplicaciones SIG para la gestión de planes de movilidad urbana sostenibles en ciudades medias. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13: 1-21.

Ingram, D. R. (1971): The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional studies*, 5 (2): 101-107.

Kasraian, D., Maat, K., Stead, D. y van Wee, B. (2016): Long-term impacts of transport infrastructure networks on land-use change: an international review of empirical studies. *Transport Reviews*: 1-21.

Levinson, D. M. (1998): Accessibility and the journey to work. *Journal of Transport Geography*, 6 (1): 11-21.

Makri, M.-C., y Folkesson, C. (1999): *Accessibility measures for analyses of land use and travelling with geographical information systems*. Lund Institute of Technology, Lund, 17 pp.
<http://www.trafikdage.dk/td/papers/papers99/papers/paper/bpot/makri/makri.pdf>

Maroto, A., y Zofio, J. (2015): Nueva metodología para la descomposición de los costes generalizados del transporte de mercancías por carretera usando la teoría económica de los números índice. *Investigaciones Regionales*, 33: 73-84.

Miller, H.J. (1999): Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, 31 (4): 373-399.

Miller, H.J. y Shaw S.L. (2015): Geographic Information Systems for Transportation in the 21st Century. *Geographic Compass*, 9 (4): 180-189.

Ministerio de Fomento (2013): *Plan de Estrategia Logística Español (PELE)*. Centro de Publicaciones del Ministerio e Fomento, Madrid, 138 pp.

<http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/9F137531-A314-433C-B377-E8A3F59572F5/121814/20131125EstrategiaLogistica.pdf>

Ministerio de Fomento (2012): *Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI)*. Centro de Publicaciones del Ministerio e Fomento, Madrid, 383 pp.
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ATENCION_CIUDADANO/PARTICIPACION_PUBLICA/PITVI_PUBLICA/DD/PITVI2012_2014/

Ministério das Obras Públicas, Transporte e Comunicações (2008): *Portugal Logístico*. Instituto da Mobilidade e dos Transportes, Lisboa, 140 pp.
<http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/PlataformasLogisticas/Documents/Rede%20Plataformas%20logisticas.pdf>

Morris, J. M., Dumble, P., y Wigan, M. R. (1979): Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*, 13 (2): 91-109.

Olsson, J. y Woxenius, J. (2014): Location of freight consolidation centres serving small road hauliers in a wider urban area: barriers for more efficient freight deliveries in Gothenburg. *Journal of Transport Geography*, 34: 25-33.

Rodríguez, E., y Gutiérrez, J. (2012): Análisis de vulnerabilidad de redes de carreteras mediante indicadores de accesibilidad y SIG. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 12: 374-394.

Sherman, L., Barber, B., y Kondo, W. (1974): Method for evaluating metropolitan accessibility. *Transportation research record*, 499: 70-82.

Southworth, F. y Peterson, E. (2000): Intermodal and international freight network modeling. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, 8 (6): 147-166.

Thill, J. C. (2009): Transportation Applications of Geographic Information Systems. En M. Madden. M. (Ed.), *Manual of Geographic Information Systems*. American Society For Photogrammetry & Remote Sensing, Washington, pp. 1035-1049.

Tsekeris, T. (2016): Interregional trade network analysis for road freight transport in Greece. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85: 132-148.

Verhetsel, A., Kessels, R., Goos, P., y Cant, J. (2015): Location of logistics companies: A stated preference study to disentangle the impact of accessibility. *Journal of Transport Geography*, 42: 110-121.

Vickerman, R. W. (1991). *Infrastructure and Regional Development*. Pion Limited, Londres, 209 pp.

ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN. ESTUDIO DE CASO EN SIERRA DE GATA (2015)

Guadalupe Navazo Arenas¹, Ana Nieto Masot² y Gerardo Moreno Marcos³.

¹ Ingeniería Forestal y del Medio Natural, Universidad de Extremadura, Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, España. gnavazoa@gmail.com

² Departamento de A. y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, Campus Universitario, s/n, 10070, Cáceres, España. ananieto@unex.es

³ Ingeniería Forestal y del Medio Natural, INDEHESA, Universidad de Extremadura, Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, España. gmoreno@unex.es

RESUMEN

Este proyecto recoge un estudio detallado del incendio de Sierra de Gata en Agosto de 2015. Se escoge este gran incendio por ser uno de los más importantes en Extremadura en los últimos años (supuso la pérdida de más de 7.000 ha de masa forestal (arbórea y arbustiva) según estimaciones oficiales del Gobierno de Extremadura), por su gran repercusión mediática, y por el alto impacto que supone en el territorio.

Se realiza la delimitación del área quemada utilizando seis métodos a partir de imágenes Landsat 8, y comparándose posteriormente con los resultados obtenidos con la medición oficial proporcionada por el INFOEX (Servicio de Prevención y Extinción de Incendios Forestales de Extremadura). También se han usado tres índices espectrales, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Ratio Normalizado de Área Quemada (NBR) e Índice de Diferencia Temporal Infrarroja (TDII), para el estudio de la actividad fotosintética de la vegetación antes y después del incendio, calcular la intensidad del mismo o la severidad de los daños causados en la vegetación, y evaluar la regeneración temprana de la vegetación.

Palabras clave: incendio forestal, teledetección, perímetro, índices espectrales, severidad.

ABSTRACT

This work uses remote sensing imagery (Landsat 8) to delimit the area burned in a wildfire, to map the intensity of the fire based on the damage caused to the vegetation, and to evaluate the early regeneration of the vegetation discussed according to the pre-fire vegetation categories. We selected the large wildfire occurred in Sierra of Gata (Central-Western Spain) in the summer of 2015 because the relevance for the region of Extremadura (the largest wildfire in the region for the last decade) and the huge social and environmental impact for the territory.

Using Landsat 8 images, six methods were followed and results compared with the official data provided by the INFOEX (Fire Prevention and Extinction Service of the Region of Extremadura). Multispectral images (combination of 7, 6 and 5 bands, combination of 7, 5 and 4 bands, and the fusion of these combinations with the panchromatic image) and vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR) and Infrared Temporal Difference Index (TDII)) were calculated for specific dates before and after to wildfire.

None of the methods offered a reliable estimation and the combinations the six methods was found as the optimal approach. Results showed that the area actually burned was slightly lower than the official data as within the perimeter of the fire numerous unburned patch were identified. Pine forest and shrublands were more severely burned, while deciduous forest seems revegetated quicker.

Keywords: forest fire, remote sensing, burned area, spectral index, severity.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales han aumentado en frecuencia y extensión en la cuenca europea del Mediterráneo desde 1960 (Shakesby, 2011), impulsado principalmente por cambios socio-económicos como el éxodo rural, el abandono de tierras agrícolas y la reforestación con especies inflamables, y apoyado por el calentamiento generalizado y creciente recurrencia de las sequías.

El fuego en la región mediterránea tiene diversos efectos sobre la vegetación como consecuencia de la gran complejidad que presentan las comunidades vegetales y de la influencia ejercida por el pastoreo, el aclareo y las actividades de quema; aunque también condicionada por las diferentes respuestas al tipo de intensidad de cada fuego, la estación del año en la que tuvo lugar y la frecuencia de quema (Le Houerou, 1973). Las diferentes intensidades del incendio son debidas sobre todo a la carga y características del combustible presente (humedad, componentes volátiles e inflamables, etc.), a las condiciones meteorológicas en las que se desarrolla el incendio (con la importante influencia de la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura), y a la variabilidad topográfica de la zona afectada (Whelan, 1995). Así, en la mayoría de incendios forestales, sus efectos se revelan en un mosaico de niveles de daño causados a la vegetación y al suelo en función de la virulencia con la que las llamas transcurrieron por cada zona. Además, cuanto mayor es la superficie afectada, mayores las diferencias en los patrones de severidad (Caetano et al., 1994).

El desarrollo de un sistema de gestión de incendios forestales requiere una evaluación global de las áreas afectadas, desde el perímetro hasta el nivel de daño provocado en la vegetación y el suelo. Esa información es fundamental para distribuir los recursos y priorizar las actuaciones en las zonas más dañadas. Para obtener esta información se emplean los sistemas de información geográfica y la teledetección, entre otras herramientas o metodologías de análisis.

La teledetección se basa en el análisis de la energía reflejada por la superficie terrestre, que se resume de la siguiente forma: el Sol ilumina la superficie terrestre, y esta refleja parte de la energía en función del tipo de cubierta vegetal presente sobre ella. Este flujo lo puede recoger un sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera que dispersa y absorbe también parte de la señal original. De igual forma, la observación remota puede basarse también en la energía emitida por las propias cubiertas, o en la que podríamos enviar desde un sensor que fuera capaz, tanto de generar su propio flujo energético, como de recoger su reflexión sobre la superficie terrestre. Ello ha sido posible gracias al desarrollo que han experimentado, por un lado, las técnicas de tratamiento digital de imágenes, lo cual ha facilitado la obtención de datos significativos del territorio, y por otro, el acceso a la exhaustiva información digital proporcionada por sensores en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal (Chuvieco, 1996).

La caracterización espectral de las masas vegetales presenta algunas dificultades como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la señal finalmente detectada por el sensor. En primer lugar, se encuentra la propia reflectividad de la hoja, que depende de su estado fenológico, forma, ángulo frente a los rayos solares, y contenido de humedad. Por otra parte, las características morfológicas de la planta: su altura, perfil, índice de área foliar, etc., tienen notable influencia sobre su comportamiento reflectivo. Un tercer grupo de factores que también condicionan la recepción de la señal emitida por las diferentes cubiertas vegetales serían los derivados de la situación geográfica de la vegetación: pendiente, orientación, asociación con otras especies y geometría de la plantación (Viedma y Chuvieco, 2005).

Los incendios alteran la cubierta vegetal, disminuyendo la cantidad de clorofila y la humedad, incrementando a su vez la superficie de suelo desnudo, y alterando su color y humedad. Estos cambios producen alteraciones en los patrones de reflectividad, que pueden ser estudiados mediante el análisis de imágenes de satélite. En este trabajo se utilizan estas alteraciones para delimitar la zona incendiada, estudiar el grado de daños causados por el incendio y analizar la regeneración temprana tras el incendio.

Para la caracterización espectral de la vegetación quemada hay que considerar dos tipos diferentes de señal: la proveniente de la formación y deposición de carbón y cenizas, y la procedente de la alteración de la estructura y cantidad de la vegetación. El primer tipo es

consecuencia de la combustión de la vegetación, y tiene el inconveniente de tener una corta duración en el tiempo, ya que se degrada por la acción de los agentes externos, que pueden eliminarlo a las pocas semanas o meses después de ocurrido el incendio. La segunda señal es más estable, pero es menos nítida para discriminar los efectos del fuego, puesto que otros factores pueden también causar cambios en la vegetación (Pereira et al., 1999). El estado fisiológico y fenológico de la vegetación cambia estacionalmente (e.g., secado estival del pasto, caída de hoja).

Existen numerosos métodos para cartografiar superficies quemadas utilizando técnicas de teledetección. Uno de los métodos más utilizados para realizar esta cartografía es la comparación entre dos imágenes, una antes y otra después del incendio, mediante el método de diferencia entre bandas espectrales o índices de vegetación (Manzo Delgado y López García, 2013). El objeto de estos índices es realzar las diferencias espectrales de las zonas quemadas respecto a las demás cubiertas. También cabe destacar, el establecimiento de clasificaciones supervisada o no-supervisada de las bandas originales (Miller y Yool, 2002), análisis de la regeneración vegetal tras el incendio (Bastarrika et al., 2011; García-Martínez y Pérez-Cabello, 2015) o la evolución de los suelos (Chuvieco, 2002). En definitiva la teledetección permite la caracterización de la superficie quemada según varios métodos, como demuestran entre otros autores Dedios Mimbela (2006) para un ecosistema de bosque seco.

La teledetección se ha utilizado ampliamente para determinar a diferentes escalas el nivel de severidad de los incendios (Key y Benson, 2006), la pérdida de cobertura vegetal (Miller y Yool, 2002) y la tasa de recuperación de las comunidades vegetales (Díaz Delgado, 2003). Un elemento común dentro de este tipo de estudios es la utilización de información espectral con el diseño de índices con información de diferentes bandas espectrales que han demostrado tener niveles de correlación con parámetros biofísicos de la vegetación como la cantidad de biomasa, la actividad fotosintética, la productividad y el contenido hídrico (De Santis y Chuvieco, 2007).

Para determinar el grado de afección de la vegetación y el grado de regeneración emplearemos los siguientes índices de vegetación: la Ratio Normalizada de Área Quemada (Normalized Burn Ratio; NBR), el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) y el Índice de Diferencia Temporal Infrarroja (TDII). Estos índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda, 2002). Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, y sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de la vegetación. Con el NBR se estudiará el grado de severidad del incendio, con el NDVI la regeneración de la vegetación en los meses posteriores y con el TDII se complementará la información obtenida con los dos índices previos.

ZONA DE ESTUDIO

El área del incendio se sitúa en Sierra de Gata (Cáceres), al norte de la Comunidad Autónoma de Extremadura (Figura 1). Este área fue afectada por un incendio forestal que comenzó el 6 de agosto del 2015, y que dadas las condiciones climatológicas de alta ventosidad y la dificultad del relieve no permitieron su completa extinción hasta el 4 de septiembre. Se produjeron grandes daños y pérdidas valoradas en cerca de 50 millones de euros, siendo las mayores en la actividad forestal (datos obtenidos de la web oficial del incendio, www.incendiogata-institucional.es).

El incendio afectó a 7.832,82 ha según el INFOEX (Servicio de Prevención y Extinción de Incendios Forestales de Extremadura), afectando a 8 municipios: Acebo, Cilleros, Gata, Hoyos, Moraleja, Perales del Puerto, Villamiel y Villasbuenas de Gata) y concentrándose el 90 % del área quemada en tres de ellos: Acebo, Perales del Puerto y Hoyos. Las poblaciones afectadas tenían una baja densidad de habitantes concentrándose en los principales núcleos de población de la comarca aunque existían zonas de viviendas dispersas que fueron lugares de potencial peligro.

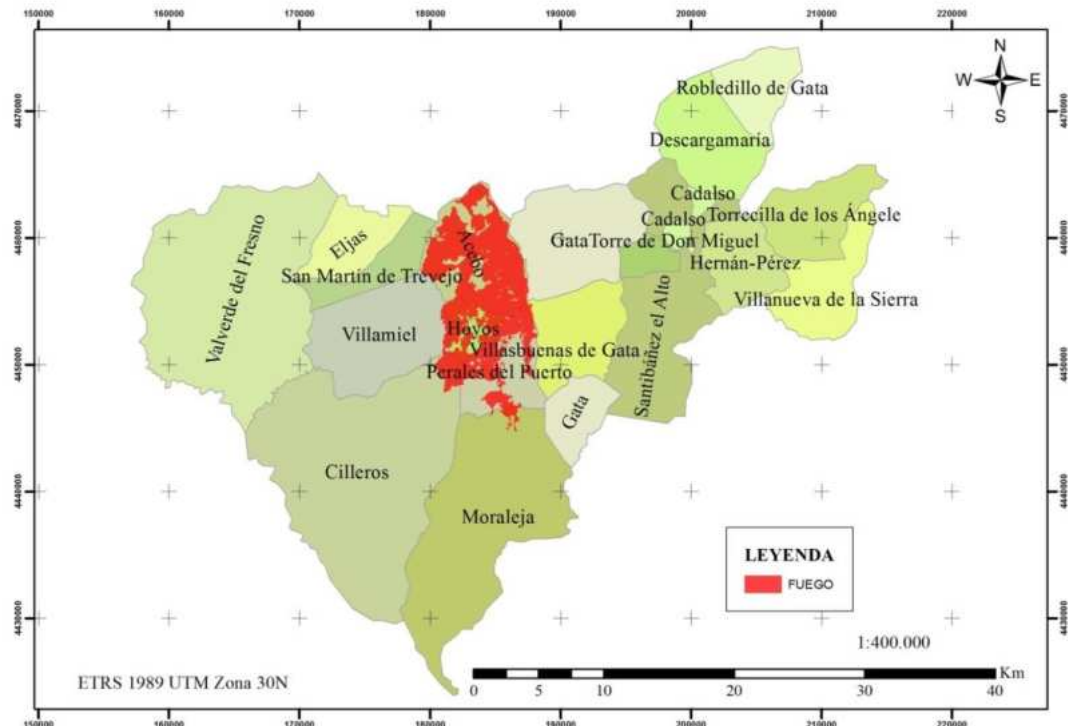


Figura 1. Municipios que conforman Sierra de Gata, en rojo el límite de la zona quemada.
Fuente: Elaboración propia a partir de la perimetración oficial del INFOEX y el mapa de municipios de Extremadura.

El paisaje corresponde principalmente a una zona montañosa con variaciones de altitud entre los 274 y 1420 msnm, siendo la media altitudinal de 600 msnm. La zona afectada mayoritariamente es ondulada, siendo la pendiente media del 25%, llegando en algunas zonas a pendientes máximas de 158,27% (Elaboración propia a partir de los datos de la Base Topográfica Nacional a escala 1:100.000).

El clima es de tipo mediterráneo, con influencia oceánica del Atlántico en invierno y continental en verano. Dicha estación suele ser cálida y los inviernos relativamente suaves (24°C / 6°C). La temperatura media anual es de 13°C, con precipitaciones en torno a los 1.200 mm, concentradas entre noviembre y abril (datos obtenidos del AEMET).

La vegetación que existía en la zona incendiada se obtuvo a partir de la unión de diferentes capas de instituciones oficiales como el MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) donde se consideraron el MFE50 (Mapa Forestal de España a escala 1:50.000) y el Atlas de Hábitats Naturales como los más indicados para la descripción de las masas forestales, y otras fuentes como el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) y el Corine Land Cover para las formaciones agrícolas. La capa resultante de la combinación de todas ellas es la que tomaremos como referencia de vegetación real de la zona antes del incendio (Figura 2).

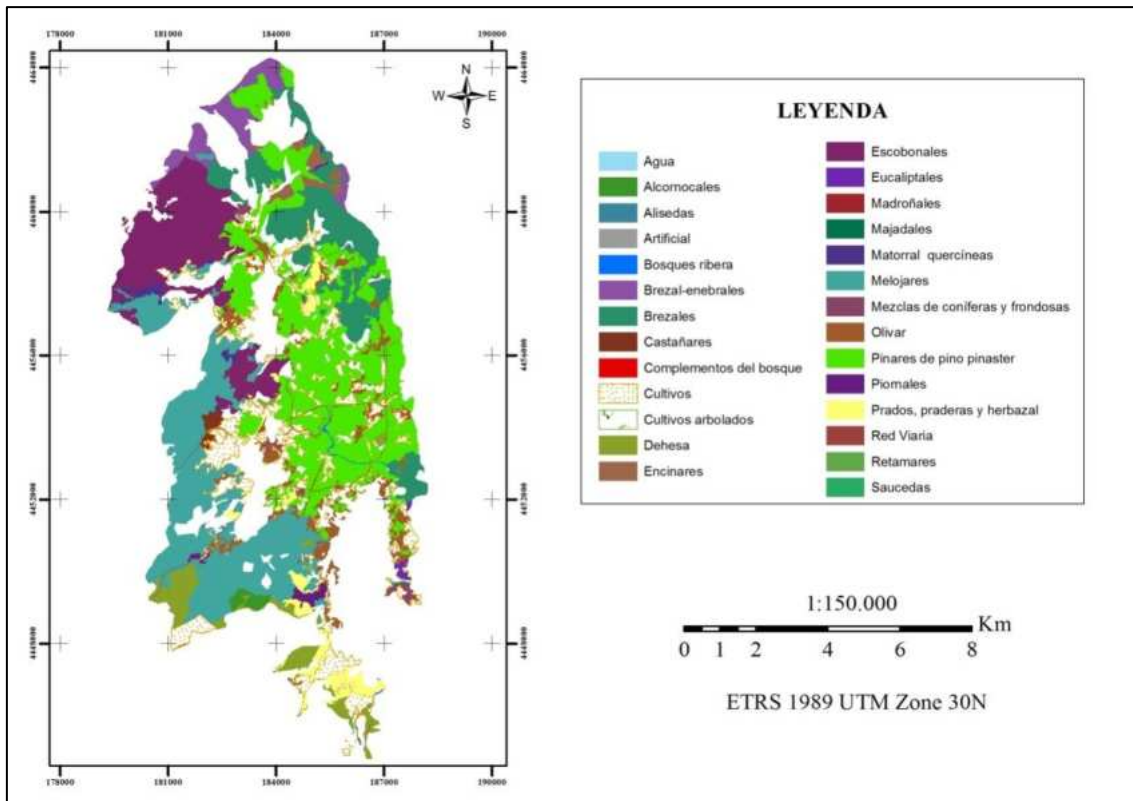


Figura 2. Vegetación antes del incendio, según la unión de las capas del MAGRAMA. Fuente: Elaboración propia.

El 29% de la superficie afectada por el incendio estaba cubierta por matorrales con una gran combustibilidad, seguida de pinares que presentaban la misma problemática. Un 20% del área estaba poblada de melojares, la mayoría sin ningún tipo de manejo (sin pastoreo, claras o desbroces recientes), por lo que presentaban sotobosque abundante, indicando un alto nivel de combustibilidad previo al incendio (aunque el roble melojo es una especie poco pirófito). El área ocupada por las formaciones de bajo combustible corresponde a la cuarta parte de la zona quemada: núcleos de población, zonas de cultivos, roquedos y vegetaciones con baja combustibilidad como encinares o alcornocales. En general, se observa que el área afectada incluía formaciones vegetales con un alto nivel de combustibilidad a lo que se le suma una gran continuidad de las masas vegetales.

El incendio afectó a importantes espacios protegidos, siendo los más importantes: LIC de Sierra de Gata, LIC Riveras de Gata y Acebo y la ZEPa Sierra de Gata y Valle de Pilas. Es además zona con abundancia de hábitats y especies de interés comunitario como son los brezales oromediterráneos, quirópteros cavernícolas y odonatos, y de zonas de valor ambiental para aves en peligro de extinción o amenazadas, como es el caso del águila real o el halcón peregrino.

METODOLOGÍA

La metodología del presente proyecto se basa en la delimitación y el estudio de la vegetación del área quemada, a través del estudio de las imágenes de satélite anteriores y posteriores al incendio.

Imágenes de satélite

De la multitud de imágenes de satélite disponibles que se pueden emplear para el estudio de los incendios forestales se han seleccionado las obtenidas por el satélite Landsat, por diversas razones, siendo dos las principales. En primer lugar, porque otros autores las han empleado y

validado en trabajos previos empleando distintas metodologías que se podían adaptar a nuestro caso de estudio. En segundo lugar, porque son imágenes gratuitas, con una óptima resolución espacial, espectral y temporal para el estudio de un incendio de grandes dimensiones como es este caso. De los dos satélites Landsat disponibles en el momento del incendio, el 7 y el 8, se seleccionaron las imágenes de Landsat 8, ya que Landsat 7 presenta problemas de GAPS (bandas con ausencia de información en sus imágenes) desde 2003. Además, en el Landsat 8 la calidad de los datos y la resolución radiométrica aumenta a 16 bits respecto a los 8 bits de los anteriores satélites, proporcionando una mejora significativa en la capacidad de detectar cambios en la superficie terrestre.

Las imágenes Landsat 8 constan de nueve bandas espectrales (Tabla 1) con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11, son útiles para proporcionar temperaturas precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. Por estas características Landsat 8 ofrece una resolución espacial, espectral y temporal que permite el seguimiento de los incendios forestales.

Tabla 1. Descripción de bandas del Landsat 8. Fuente:Elaboración propia.

Banda	Nombre	Longitud onda (µm)	Resolución	Indicador/Aplicación
1	Aerosol costa	0,43 – 0,45	30	
2	Azul	0,45 – 0,51	30	Diferencia entre vegetación y suelo. Aguas costeras.
3	Verde	0,53 – 0,59	30	Mapeo vegetación. Calidad de agua
4	Rojo	0,64 – 0,67	30	Usos del suelo. Diferenciación de especies vegetales. Absorción de la clorofila
5	NIR (infrarrojo cercano)	0,85 – 0,88	30	Agricultura y vegetación. Mapeo geomorfológico y geológico. Identificación áreas de incendios y áreas húmedas.
6	SWIR 1 (infrarrojo onda corta)	1,57 – 1,65	30	Usos del suelo. Medición de la humedad en la vegetación.
7	SWIR 2 (infrarrojo onda corta)	2,11 – 2,29	30	Identificación de minerales. Mapeo hidrotermal
8	Pancromática	0,50 – 0,68	15	
9	Cirrus	1,36 – 1,38	30	Diferenciación nubosidad
10	TIRS 1 (Infrarrojo térmico o de onda larga)	10,60 – 11,19	100	Stress térmico en plantas. Corrientes marinas. Propiedades termales del suelo.
11	TIRS 2 (Infrarrojo térmico o de onda larga)	11.50 – 12.51	100	

En este estudio persiguen tres fines diferentes, (i) delimitar la zona incendiada, (ii), determinar y cartografiar el grado de severidad del incendio, y (iii) evaluar la posterior regeneración de la vegetación afectada. Para estos fines se utilizan dos métodos para analizar las áreas quemadas, (i) la fotointerpretación multiespectral, y (ii) el uso de índices de vegetación (NDVI, NBR y TDII), comparando imágenes satelitales anteriores y posteriores al incendio. La combinación de estas técnicas permite obtener unos óptimos resultados.

Delimitación del área quemada

La delimitación de zonas quemadas puede hacerse a través de imágenes de satélite debido a tres condiciones primordiales. En primer lugar, la pérdida de biomasa verde (clorofila) provoca una reducción de la actividad fotosintética y por tanto de la absorción de luz, aumentando sensiblemente la reflectividad de las bandas visibles del espectro (Guyot et al. 1992). En segundo lugar, el deterioro de la estructura celular de la hoja causa una reducción de la señal en el infrarrojo cercano, así como en el infrarrojo medio, a consecuencia de la pérdida de humedad (Chuvieco y Congalton, 1988). En tercer lugar, la temperatura del área quemada tiende a ser mayor, tanto por la mayor absortividad (a consecuencia de su color negro), como por la menor evapotranspiración (Hope y McDowell, 1992).

En este trabajo se utilizarán dos métodos para delimitar las áreas quemadas: primero, la fotointerpretación multiespectral y en segundo lugar, el uso de tres índices de vegetación: NDVI, NBR y TDII con imágenes posteriores a la fecha de inicio del incendio. La combinación de ambas técnicas permitirá obtener unos resultados más satisfactorios.

La fotointerpretación es una técnica empleada para analizar la información de las imágenes satelitales o fotografías aéreas, que en este caso las emplearemos para ubicar y delimitar el incendio. Hay dos tipos de fotointerpretación: la multiespectral y la fusión pancromática. La fotointerpretación multiespectral consiste en crear una combinación específica de bandas espectrales con la imagen satélite posterior al incendio. Con esta metodología se puede visualizar el área del incendio, ya que queda diferenciado en una tonalidad distinta al resto de elementos. En este caso empleamos tres combinaciones: las bandas 7, 6, 5; las bandas 7, 5, 4 y la fusión pancromática entre la banda 8 y las dos combinaciones anteriores.

Atendiendo a los resultados de numerosos estudios mencionados en párrafos anteriores, las dos combinaciones de bandas más adecuadas para la delimitación de un incendio son las bandas 7, 6, 5 (infrarrojo onda larga, infrarrojo onda corta e infrarrojo cercano, respectivamente), y la segunda que combina las bandas 7, 5, 4 (infrarrojo onda larga, infrarrojo cercano y rojo, respectivamente). Con ambas combinaciones se obtienen un buen contraste de la zona quemada al emplear las bandas de infrarrojo y rojo, que son las que mayor respuesta espectral proporcionan ante la variación de la vegetación y la alteración de temperaturas. Se emplean estas bandas ya que poseen las características sensibles a los efectos de los incendios. La banda 5 refleja una mayor absorción al no existir vegetación, la banda 6 es sensible al contenido en humedad y la banda 7 muestra una mayor reflectividad al ser una zona quemada. La fusión pancromática consiste en la fusión de la imagen multiespectral, obtenida de una combinación específica de bandas con la banda pancromática, la banda 8. Esta unión aumenta la resolución de la imagen de 30 m a 15 m permitiendo una digitalización más precisa.

El otro método utilizado para delimitar el incendio digitalmente es mediante el cálculo de una serie de índices espectrales de vegetación que aportan información de la actividad fotosintética después del incendio. En este estudio se empleó el Normalized Burn Ratio (NBR), el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y el Índice de Diferencia Temporal Infrarroja (TDII).

El NBR, desarrollado por Hunt y Rock en 1989, pretende estimar la severidad del incendio forestal. Para ello emplea el contraste entre el infrarrojo cercano ($IRC = 0,845 - 0,885 \mu m$, Banda 5 del Landsat 8) por ser sensible al contenido de agua en la vegetación y el suelo; y el infrarrojo de onda corta ($SWRI = 2 - 2,3 \mu m$, Banda 7 del Landsat 8) que es sensible a la detección de vegetación sin actividad fotosintética, en el medio post-incendio (Jia et al., 2006). La fórmula de este índice es la siguiente ecuación:

$$NBR = \frac{\rho_i, IRC - \rho_i, SWIR}{\rho_i, IRC + \rho_i, SWIR}$$

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI, descrito por Rouse et al. 1973, permite la estimación de la actividad fotosintética de la vegetación. Este cálculo se basa en medir la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que refleja la vegetación. Estas bandas son la del infrarrojo cercano (IRC = 0,845 – 0,885 μm , Banda 5 del Landsat 8) y el rojo (R = 0,63 – 0,68 μm , Banda 4 del Landsat 8). El NDVI se expresa con la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_i, IRC - \rho_i, R}{\rho_i, IRC + \rho_i, R}$$

El TDII combina la resolución espectral y temporal. Este índice los usan en sus estudios López Balsera (2015) y Rodríguez-Moreno y Bullock (2013). Se define como:

$$TDII = \log_{10} \left[\frac{IRC_{PRE}}{SWIR_{PRE}} - \frac{IRC_{POST}}{SWIR_{POST}} \right]$$

donde IRC_{PRE} es la reflectividad del infrarrojo cercano antes del incendio (Banda 5 de Landsat 8), IRC_{POST} es la reflectividad del infrarrojo cercano después del incendio (Banda 5 de Landsat 8), $SWIR_{PRE}$ es la reflectividad del infrarrojo medio de onda corta antes del incendio (Banda 7 de Landsat 8), y $SWIR_{POST}$ es la reflectividad del infrarrojo medio de onda corta después del incendio (Banda 7 de Landsat 8).

Para calcular los posibles errores en la determinación de la superficie quemada se calculó un área de influencia hacia el exterior del área quemada vectorizada, tomando como valor de incertidumbre la resolución espacial de la imagen (30 m para todas las mediciones, excepto para la fusión pancromática donde se toma 15 m). Todos estos métodos se realizaron con las imágenes del satélite Landsat 8 obtenidas el 2/07/2015 (LC82030322015202LGN00, antes del incendio y después del incendio el 07/09/2015(LC82030322015250LGN00).

Estudio del grado de daños y regeneración de la vegetación

En el análisis espacial de la severidad y la regeneración vegetal se han utilizado varias escenas, que recogen la zona afectada antes e inmediatamente después del fuego y la progresión a lo largo de 8 meses tras el incendio.

La severidad de un incendio es un término descriptivo que integra los cambios físicos, químicos y biológicos ocurridos en un lugar como consecuencia del fuego (White et al., 1996). La teledetección es una técnica adecuada para el estudio de la severidad del fuego ya que el proceso de combustión origina cambios en la reflectividad superficial asociados a la eliminación de la vegetación, la exposición del suelo, los cambios en el contenido de humedad y la aparición de nuevas vegetaciones. El máximo exponente de estos cambios es el descenso en las regiones del visible e infrarrojo cercano y el incremento en la reflectividad del infrarrojo medio de onda corta (Key y Benson, 2006; White et al., 1996).

El análisis de la severidad de áreas quemadas mediante el índice NBR posibilita la identificación de las zonas donde la pérdida de vegetación ha sido más elevada. Esto es debido a la combinación de dos bandas espectrales que responden al fuego de manera más acusada y contrastada: el infrarrojo cercano (IRC), cuya reflectividad desciende debido a la desaparición de la vegetación activa, y el infrarrojo medio de onda corta (SWIR), cuya reflectividad incrementa por la pérdida de humedad, la mayor exposición del suelo y las menores sombras proyectadas por la vegetación (Hunt y Rock, 1989).

El rango de valores de severidad y de regeneración post-incendio fue fijado por el proyecto FIREMAN (Lutes et al., 2006), tomando los siguientes valores:

Tabla 2. Valores de severidad y regeneración post-incendio según FIREMAN (Lutes et al., 2006). $\Delta NBR = NBR_2 - NBR_1$ (1 y 2 son las dos fechas que se comparan).

Nivel	Rango de ΔNBR
Alta severidad	< - 0,5
Media severidad	- 0,5 a -,25
Baja severidad	- 0,25 a -0,1
Nula severidad	- 0,1 a 0,1
Bajo regeneración	0,1 a 0,27
Medio regeneración	0,27 a 0,44
Alto regeneración	0,44 a 0,66
Muy alta regeneración	0,66 a 1,3

Para completar los resultados anteriores, se utiliza el NDVI como índice que estima la cantidad de biomasa verde, independientemente de las especies que formen la comunidad (Blackburn y Milton, 1995) y constituye una buena herramienta para cuantificar globalmente el recubrimiento vegetal (Duncan et al., 1993). Este índice de vegetación ha sido uno de los más aplicados por su alto éxito, debido a la fuerte relación existente entre la severidad del fuego y la cantidad de vegetación consumida (De Santis y Chuvieco, 2007).

El resultado del NDVI se puede agrupar en las siguientes clases según la actividad fotosintética:

Tabla 3. Clasificación de la actividad fotosintética según NDVI (Duncan et al., 1993).

Actividad fotosintética	Rango
Nula	< 0
Muy baja	0 a 0,1
Baja	0,1 a 0,2
Media	0,2 a 0,3
Media - Alta	0,3 a 0,4
Alta	0,4 a 0,6
Muy alta	> 0,6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Delimitación del área quemada

Realizando una unión de todas las capas obtenidas por la vectorización de los seis métodos: la digitalización de las tres fotointerpretaciones multiespectrales (combinaciones de bandas 7,6, 5, y 7,5, 4 y la fusión de esta última combinación con la pancromática, 8) y de los tres índices (NBR, NDVI, TDII) (Figuras 3 y 4) en la imagen del 7 de septiembre, se determina una perimetración de 7217,76 +/- 1303,32 ha (18,06% de error) (Figura 5 y 6), lo que se aproxima a la delimitación oficial. Supone una diferencia de 615,06 ha menos que la perimetración oficial del INFOEX (7.832,67 ha), unos datos más precisos obtenidos gracias a que al combinar diversos métodos, la superficie no quemada (o sin daño observable) queda excluida de la delimitación. Estas zonas de menor reflectividad pueden ser casas aisladas, pequeñas zonas de cultivos, caminos, roquedos, manchas de vegetación natural sin quemar... También añadir que en la perimetración oficial (Figura 6, comparación de nuestro límite con el del INFOEX) el método utilizado fue calculado por vuelo del halcón (el helicóptero de coordinación aéreo del plan INFOEX) y con esta técnica se generalizaron los límites, no se depuraron las pequeñas zonas con una extensión menor a 500 m y no se discriminaron zonas interiores del perímetro total del incendio donde la vegetación no sufrió daño aparente.

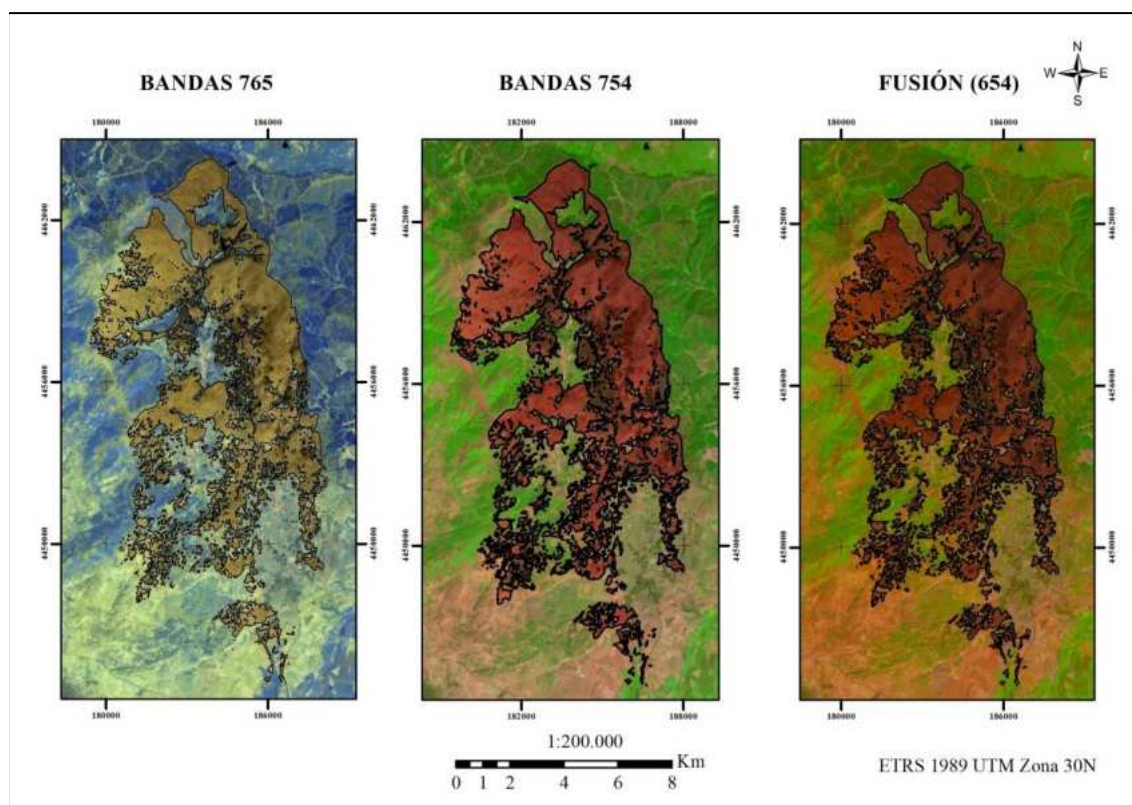


Figura 3. Delimitaciones sobre composiciones de bandas (7,6,5 y 7,5,4 y fusión pancromática con la combinación 7,5,4).

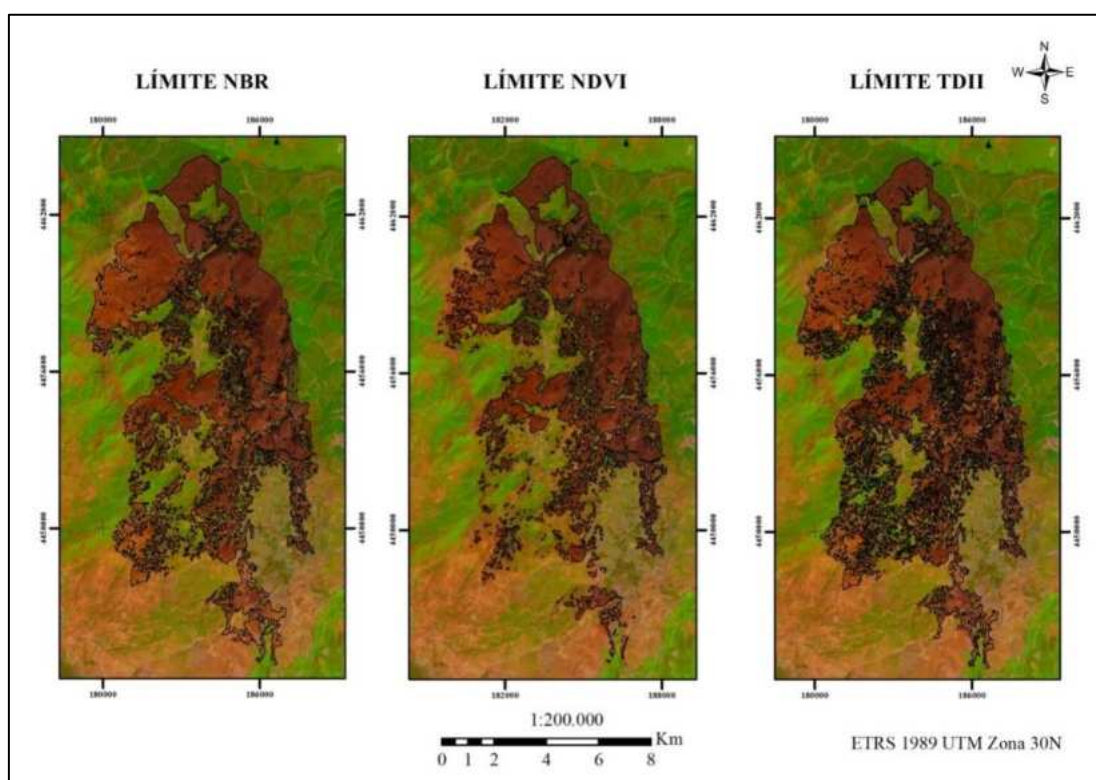


Figura 4: Delimitación según los distintos índices espectrales. Fuente: Elaboración propia.

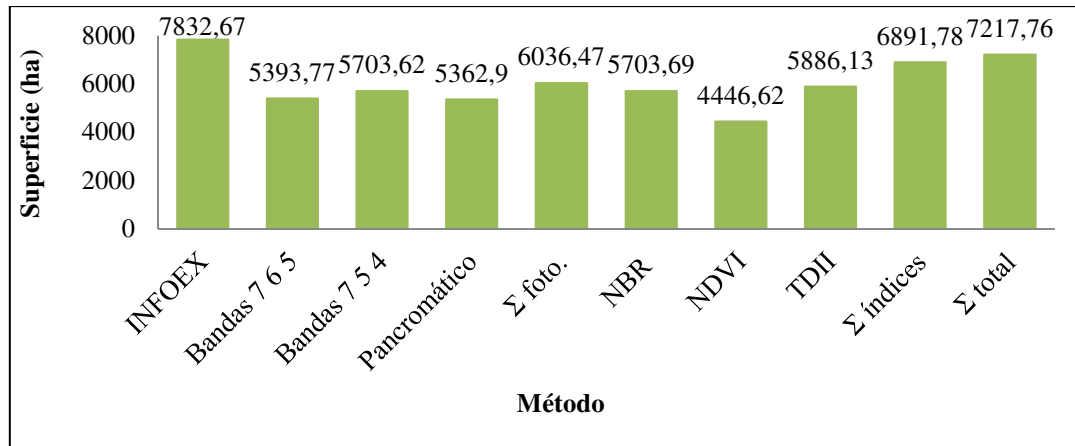


Figura 5. Superficie quemada según los métodos calculados, que se comapran con la cifra oficial ofrecida por el INFOEX. Fuente: Elaboración propia.

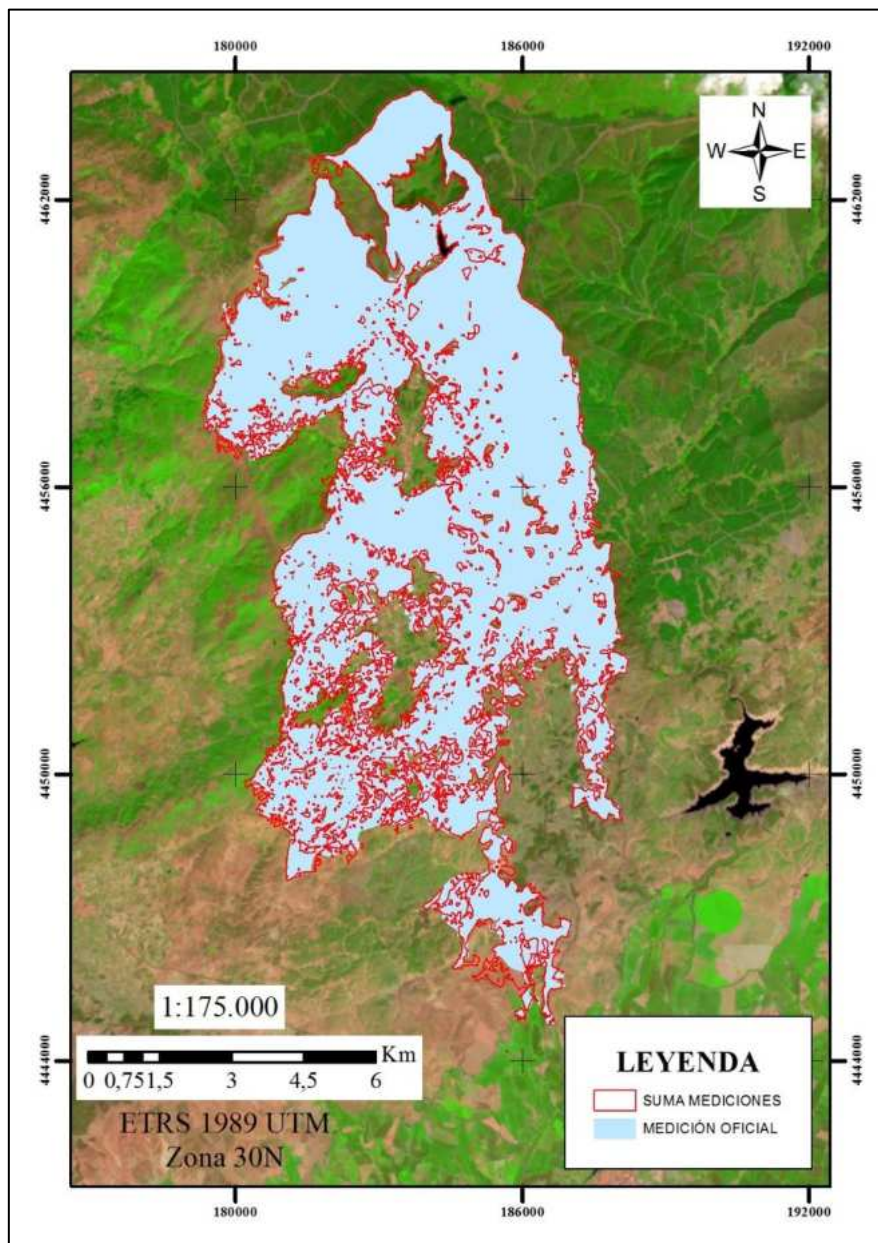


Figura 6. Comparativa de la suma de los límites previamente calculados con la medición oficial. Fuente: Elaboración propia.

La perimetración que recoge todos los cálculos reduce su error relativo debido a la coincidencia en muchas zonas quemadas según los distintos métodos. La perimetración calculada por municipios muestra que en general ha sido superior la oficial, salvo en la población de Moraleja, donde se han quemado más superficie de la declarada oficialmente, 15,41 ha (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie afectada para cada municipio según perimetración oficial y la obtenida de la suma de todos los límites calculados.

Municipio	Superficie oficial (ha)	Superficie calculada (ha)
Acebo	4.345,30	4.225,93
Cilleros	435,44	397,95
Gata	60,83	47,45
Hoyos	1.148,26	966,46
Moraleja	130,03	145,94
Perales del Puerto	1.543,00	1279
Villamiel	125,66	123,72
Villasbuenas de Gata	41,01	42,47
Total	7.832,82	7.217,76

Las zonas coincidentes entre las perimetraciones obtenidos por los seis métodos ocupan 3.362,52 ha, y estas zonas se corresponden con zonas de elevada pendiente y altitud donde la intensidad del fuego ha sido mayor y por ello, se discriminan mejor con los índices espectrales. La vegetación principal de estas zonas es un 29,3% de pinares, un 28,4% de brezales y un 20,2% de escobonales lo que supone que el 77,9 % de esta superficie coincidente en los distintos análisis tienen masas de alta combustibilidad.

Estudio del grado de daños de la vegetación

Antes del incendio, con los datos obtenidos con el cálculo del NBR el 87,85% de la superficie presentaba valores positivos, con diferentes intensidades de vegetación. Tras el fuego la superficie con valores positivos se redujo al 13,20% de la superficie total, lo que equivalen a 1028,61 ha, de las cuales más de la mitad coincide con zonas que no fueron quemadas, y el resto corresponde en su mayoría a zonas de melojar quemadas, pero con copas que no sufrieron daños de consideración (Figura 7).

La Figura 7 muestra el índice NBR antes y después del incendio, y el grado de severidad del mismo (por comparación de imágenes). Las especies más afectadas fueron las arbustivas que sufrieron el cambio más acusado en el índice NBR, sufriendo el 68% de los escobonales y el 72% de los brezales incendiados de severidad media o superior. Los pinares sufrieron el incendio con severidad algo menor, estando el 62% de los mismos dentro de las categorías de severidad media o superior. En el caso de las frondosas la severidad fue menor, siendo el 48% de su superficie afectada con severidad media o superior. De esto se deduce que las masas que sufren menos severidad son las de frondosas, y las de mayor severidad las masas de matorral y pinares.

El matorral arde mejor por su bajo porte y alta combustibilidad, explicada esta última por su baja humedad en verano y su alto contenido en aceites esenciales. Los pinares son conocidos por su alta combustibilidad debido al alto contenido de sustancias resinosas, y por la rápida propagación de los incendios que provocan las piñas que saltan encendidas desde los pinos a bastante distancia.

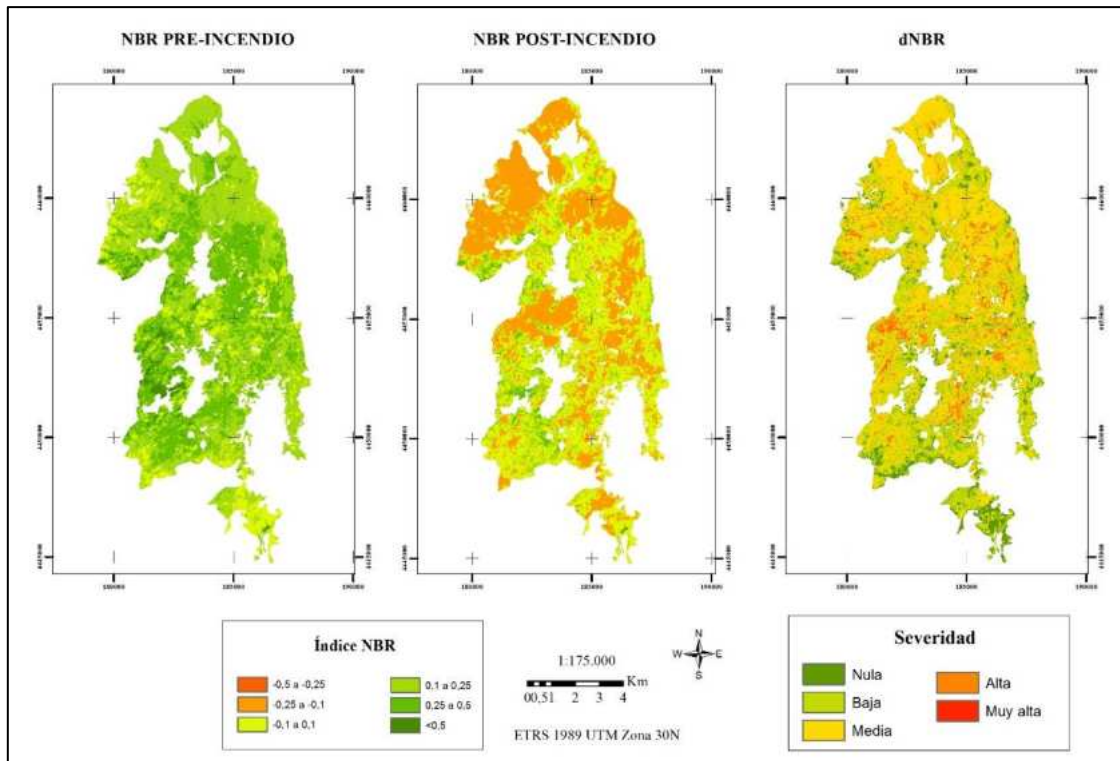


Figura 7. NBR antes (2 de agosto de 2015) y después (7 de septiembre de 2015) del incendio, y el Grado de Severidad del mismo estimado a partir de la diferencia de índice NBR entre las 2 fechas (dNBR). Fuente: Elaboración propia.

Los bosques de frondosas sufrieron el incendio con menor severidad. Las frondosas, especies de hoja ancha, forman bosques en Sierra de Gata fundamentalmente con robles melojos (*Quercus pyrenaica*) y castaños (*Castanea sativa*). Se localizan en zonas de mayor altitud y necesitan más humedad que otras especies de frondosas como las encinas o los alcornoques. Estos últimos son escasos en la zona incendiada, aunque buena parte del espacio ocupado por los pinos y matorrales de baja altitud podrían soportar formaciones arbóreas con encinas y alcornoques como especies dominantes. Las frondosas sufren un menor daño con el incendio por su mayor concentración de humedad, lo que dificulta la quema de sus tejidos, y por su menor contenido en resinas y aceites esenciales.

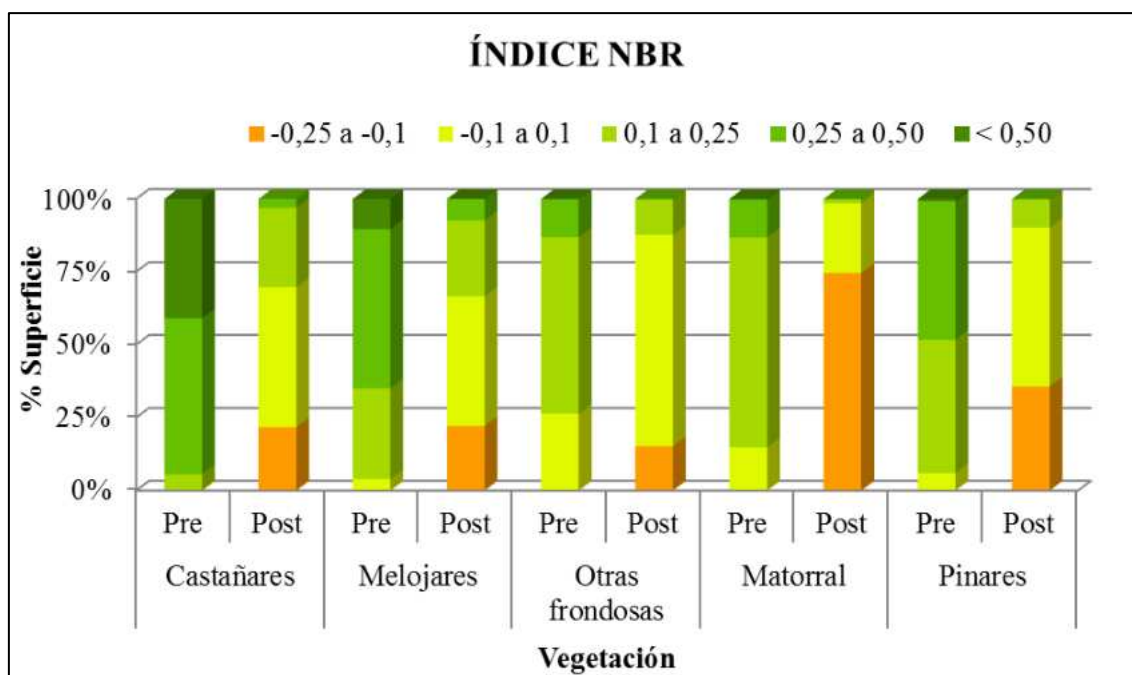


Figura 8. Comparativo de valores de índice NBR antes y después del incendio para las distintas formaciones vegetales. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Porcentaje de superficie según la severidad del incendio (comparación de índice NBR antes y después del incendio), y tipo de vegetación. Fuente: Elaboración propia.

% Sup. Severidad	Pinares	Melojares	Escobonales	Brezales
Nula	4,5	7,75	5,72	5,1
Baja	33,89	44,16	26,55	22,93
Media	51,34	37,47	59,38	67,77
Alta	9,97	10,34	8,2	4,06
Muy alta	0,3	0,28	0,16	0,14

Se puede comprobar también con la Tabla 3 que las zonas de matorral (escobonales y brezales) sufrieron un incendio más severo debido a la calcinación completa de la masa arbustiva. Se localizan en zonas llanas y en laderas, y su estrato al ser de menor altura se calcina con mayor rapidez en un fuego de gran intensidad. Por ello, las masas de escobonales y brezales tienen la severidad mayor (70% entre la suma de severidad media y alta), lo que indica que más de la mitad de la masa ha quedado totalmente calcinada o muerta por lo comentado previamente.

En el caso de los pinares la severidad del incendio fue la segunda más alta (60% de su superficie con severidad media y alta) debido a que se produce la calcinación de los pies quedando solo los fustes mayores, además de la quema completa del manto de acículas del suelo. Son las especies de mayor rapidez en la propagación de los incendios (por sus piñas, entre otras causas) además de los eucaliptos. En Gata existían grandes extensiones de pinar en unas altitudes superiores a 1.000 metros y sin ninguna infraestructura o especie o espacio que actuará como cortafuego natural en el interior de estas formaciones vegetales extensas. La fragmentación de las formaciones de pinar, dedicando parte de espacio a otros usos o formaciones (mosaico de usos del suelo), parece la única forma de evitar la rápida propagación de los incendios por grandes extensiones de territorio.

Una parte importante de los melojares sufrieron un incendio de severidad baja (44% del melojar quemado), lo que confirma que es una especie más resistente al incendio, debido al alto contenido de humedad en sus hojas, su composición foliar (menos ignófitas) y su tendencia a localizarse en laderas y vaguadas con mayor humedad ambiental y/o edáfica.

La severidad del incendio también fue evaluada mediante la comparación del índice NDVI antes y después del incendio, confirmando los resultados obtenidos con el índice NBR. La actividad fotosintética antes del incendio (2 de Agosto 2015) entraba dentro de la categoría de Media o Superior (NDVI > 0.2) en un 88,61% de la superficie total. Estos niveles son adecuados y típicos para pleno verano, cuando la sequía resta actividad fotosintética a la vegetación. Las zonas que tenían una actividad fotosintética menor (categoría Baja, NDVI 0.1-0.2) eran los matorrales esclerófilos, con escasa actividad vegetativa en los meses de verano (Figura 9).

Con la imagen posterior al incendio, del 7 de septiembre, la actividad fotosintética es principalmente muy baja, debido a la pérdida o calcinación de las hojas que concentran la actividad fotosintética. De hecho, tras el incendio la superficie con NDVI en las categorías Media o Superior (NDVI > 0.2) sumaba sólo el 11,41% de la superficie (frente al 88,61% antes del incendio). Se puede apreciar que las zonas con mayor daño partían de una actividad fotosintética media (tonalidad amarilla) y evolucionaron con mayor intensidad a muy baja o nula (colores naranjas y rojos). La vegetación con media-baja actividad fotosintética se quema más intensamente por presentar bajo contenido de humedad, lo que facilita su rápida combustión (Figura 9).

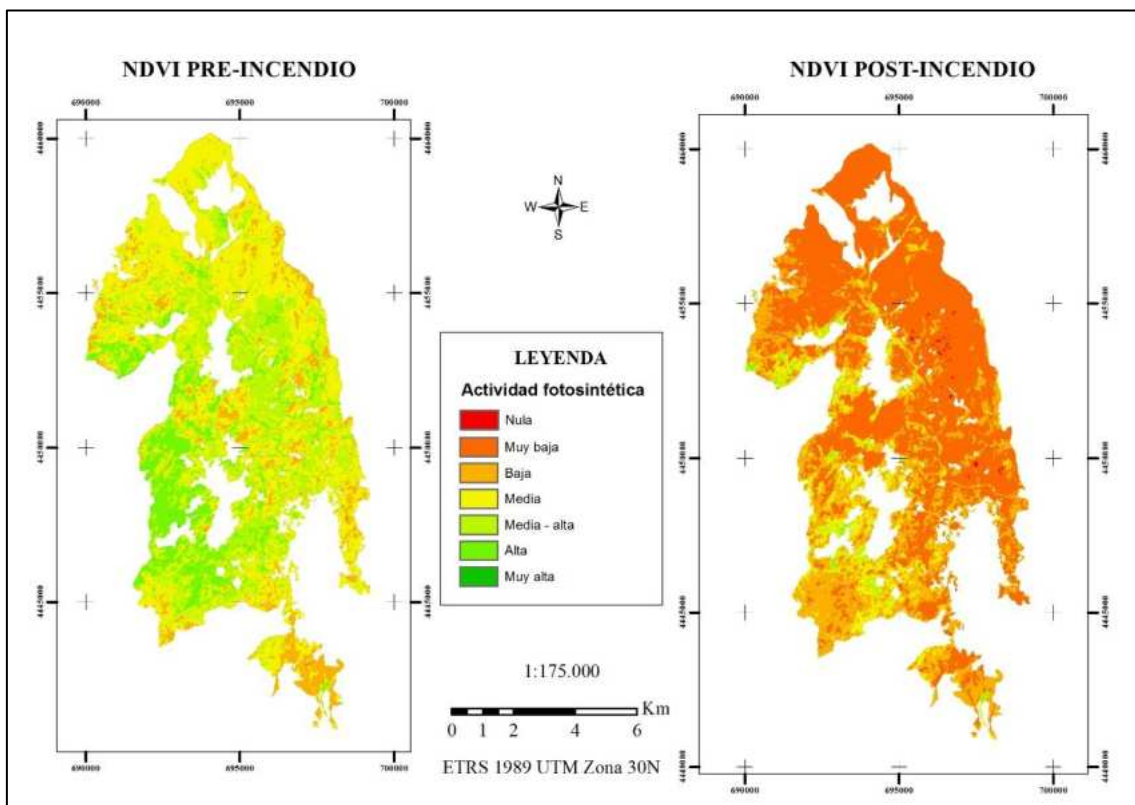


Figura 9. NDVI antes (2 de agosto de 2015) y después (7 de septiembre de 2015) del incendio.
Fuente: Elaboración propia.

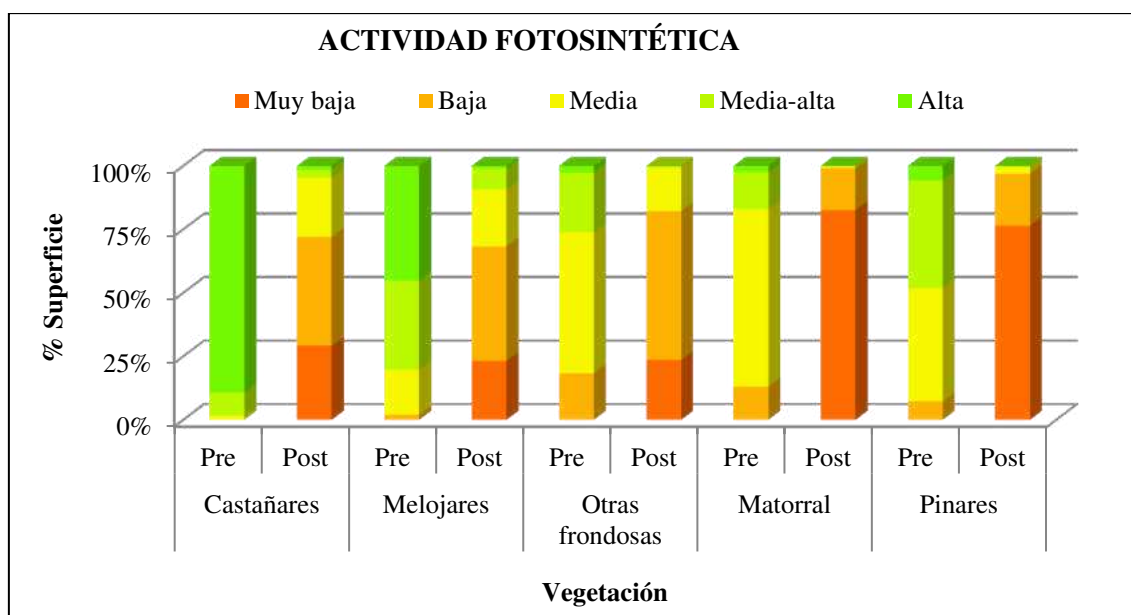


Figura 10. NDVI comparativo para las distintas vegetaciones y momentos. Fuente: Elaboración propia.

La actividad fotosintética de los castañares (Figura 10) sufrió una grave reducción, de ser mayoritariamente alta pasó a baja o muy baja, principalmente por la pérdida de las hojas durante el incendio. Son árboles de hoja caduca que en agosto las mantenían con actividad fotosintética superior a otras especies con hojas escleróticas (hojas duras y gruesas) y más resistentes a las temperaturas altas como las encinas o en esta zona los matorrales.

Los melojares redujeron su actividad fotosintética, pasando las categorías media y altas de NDVI del 98% al 32% de su superficie. Esto indica la calcinación de las hojas en un alto porcentaje de la superficie afectada.

Las zonas de pinar, que ya presentaban valores discretos de actividad fotosintética antes del incendio, pasaron a presentar tras el incendio valores de actividad fotosintética muy baja en la mayoría de su superficie (más del 90% de su extensión pasó a los valores bajos, muy bajos o nulos), confirmando que estas masas vegetales experimentaron un incendio de alta severidad, con calcinación de sus hojas y ramas.

Los matorrales presentaban aún una actividad fotosintética previa más baja, típica del verano para estas formaciones, lo que favoreció la combustibilidad, y originó que la fotosíntesis se redujera al mínimo (sólo el 3% de su superficie mantenía valores de NDVI medios o superiores).

En resumen, el NDVI (o actividad fotosintética) pasó de media - baja a muy baja – nula tras el incendio. La actividad fotosintética previa era media y baja debida en parte a las elevadas temperaturas y a la sequía propia del verano y evoluciona a muy baja y baja en las zonas más castigadas por el incendio como las de matorral y pinares (Figura 9).

Estudio de la regeneración temprana de la vegetación

La Figura 11 muestra la imagen comparativa de la zona antes y después del incendio para diferentes meses mediante la evolución de los Índices NDVI.

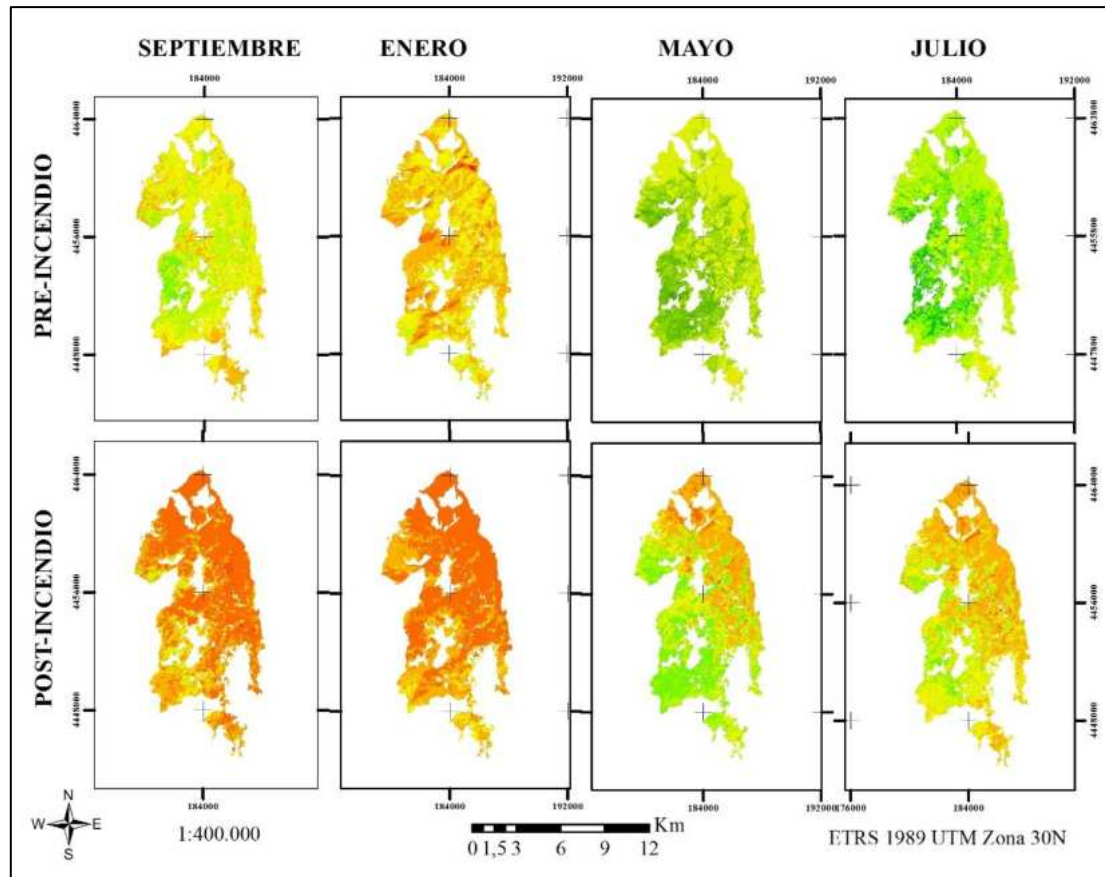


Figura 11. Comparativa de los efectos del fuego en distintos meses. Fuente: Elaboración propia.

Tras el incendio se produce una brusca reducción de la actividad fotosintética (septiembre) que se acentuó en los meses siguientes hasta el invierno, explicada por la caída prematura de la hoja en plantas parcialmente dañadas y que finalmente se secan como consecuencia de los daños sufrido por la planta, pero también por la caída de la hoja propia del otoño. Ya en mayo de la primavera que sucede al incendio se empieza a observar una recuperación en la actividad fotosintética, explicada sobre todo por las primeras plantas herbáceas que nacen y el rebrote de fundamentalmente de frondosas (castaños y robles melojos). En la zona oeste y suroeste del incendio, donde estos últimos se localizan, se observan amplias zonas que presentan valores de NDVI aceptables, aunque aún se observa un déficit respecto a la situación anterior al incendio.

Esto se constata claramente en la Figura 12, donde se sintetiza lo sucedido para las 5 formaciones vegetales dominantes de la zona del incendio. El estado de la vegetación el verano siguiente al incendio es bastante bueno en castañares, moderadamente bueno en melojares y algo peor en otras frondosas, y claramente malo en matorral y pinar. No obstante, incluso para las formaciones que presentan mejor estado, como castañares y melojares, estos aún son netamente inferiores a los observados antes del incendio. Dada la dinámica positiva del primer año, cabe esperar que al menos castañares, melojares y otras frondosas (que rebrotan de copa) alcancen niveles similares al pre-incendio en pocos 1-2 años más. Sin embargo esta dinámica parece que será mucho más lenta para los matorrales que rebrotan de raíz, y más lenta aún para el pinar que depende de la emergencia de nuevas plántulas (proceso que se ve favorecido por el incendio).

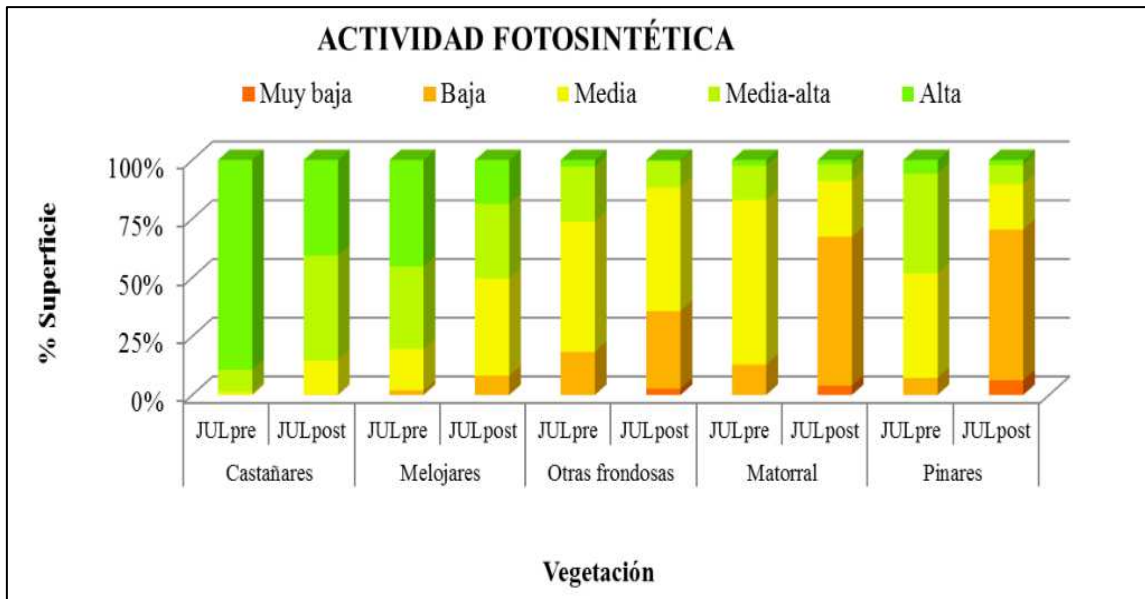


Figura 12. Estado de regeneración de la vegetación por tipología de formación. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

A través del estudio de la zona quemada el verano de 2015 en la Sierra de Gata y sus efectos, se observa que el incendio se propagó rápidamente por las zonas de alta combustibilidad (pinares y matorrales) y continuidad, además de estar altamente favorecido por las condiciones de alta ventosidad, con vientos de sur a norte, propagando el fuego en esa dirección, siendo este tipo de incendios los más frecuentes en las áreas del norte de Extremadura.

Los efectos del incendio se podrían haber reducido si las especies no fueran tan combustibles y la continuidad de las masas forestales más reducida. Para ello se propone el modelo de mosaicos de cultivos presentado por INDEHESA en sus investigaciones (ver www.incendiegata-institucional.es). El modelo consiste en romper la continuidad de las masas forestales de mayor inflamabilidad y combustible con la introducción de otros aprovechamientos del territorio a través de prácticas agroforestales que incluyan cultivos y manejo pastoral. Es decir, diversificar el paisaje de manera que incluya zonas de explotación maderera, de cultivo y de pastoreo. La heterogeneidad del paisaje tiene una ventaja muy clara, evita la propagación de incendios y reduce las dimensiones de éstos. Además, se proponen áreas cortafuegos con vegetación de baja combustibilidad, que en estas áreas podrían ser de vegetaciones autóctonas como los melojares que son los que menores daños sufrieron en este incendio analizado.

Laimetración oficial del incendio es más elevada que la obtenida con los índices espectrales desarrollados en este trabajo, debido a la falta de precisión al no tenerse en cuenta pequeñas zonas que no se quemaron como cultivos, prados, huertos, casas aisladas y algunas pequeñas manchas de monte. Esta delimitación se calculó a groso modo, a través de un vuelo aéreo. Laimetración obtenida en este trabajo es más precisa y se distinguen varias zonas sin quemar correspondientes a núcleos urbanos, zonas de regadío y una zona de baja vegetación en el paraje de la Cervigona, que es una cuenca cerrada y profunda, que no se calcino ya que el fuego llegó por la cumbre de día y continuo dirección norte sin bajar al valle, en contraste con la delimitación oficial del INFOEX.

La delimitación final calculada de 7.217,76 +/- 1303,32 ha, obtenida de la suma de los seis perímetros calculados por distintos métodos, tiene un alto error relativo debido a la resolución espacial de las imágenes de partida, que en Landsat 8 es de 0,09 ha, pero para distinguir correctamente un objeto, éste debe cubrir de 6 a 10 píxeles, por lo que no se tienen en cuenta superficies menores a 0,54 ha que realmente no están quemadas dentro de grandes incendios. De

hecho, se considera que los incendios menores, con una superficie inferior a 3 o 4 ha, generalmente son difícilmente apreciables en las imágenes Landsat (Sacristán Romero, 2006).

También existe una diferencia de 615,06 ha entre los perímetros (calculado y oficial) debido esencialmente a que mediante teledetección sólo se tienen en cuenta las superficies realmente destruidas, sin ser consideradas las zonas simplemente recorridas por las llamas y que en índices como el NDVI por tener especies que previamente tenían poca actividad fotosintética, como los matorrales en verano, no producen grandes cambios antes y después del incendio (solo se comprueban en meses posteriores, cuando en invierno estos matorrales tampoco presentan actividad fotosintética cuando si deberían tenerla).

Por otro lado, el grado de severidad tras un incendio es un conocimiento necesario para la planificación de las actuaciones posteriores. La severidad de las formaciones de matorral y pinar fueron las más altas según el NBR, y las más leves las sufridas por las frondosas. Se puede concluir de lo anterior, que las masas de pinar son las que sufren mayor severidad por las características de sus hojas y su rápida propagación por el impacto de las piñas, y también que las frondosas, por su condición de rebrotadoras, sufren severidades variables que se recuperan con el tiempo, al iniciarse la regeneración natural de la vegetación.

Con los índices de NDVI de las imágenes Landsat 8 se ha comprobado la evolución de la actividad vegetativa en las distintas especies afectadas por el incendio. Las especies que producen cambios más drásticos en cuanto a su actividad fotosintética son los castaños que sufrieron una grave reducción, de ser mayoritariamente alta pasó a baja o muy baja, debido sobre todo a la pérdida total de las hojas durante el incendio. Son árboles de hoja caduca que en agosto mantenían actividad fotosintética superior a otras especies xerófilas y más resistentes a las temperaturas altas (con hojas más oscuras y duras) como las encinas o en esta zona los matorrales. También las zonas de pinar sufrieron los mayores efectos de la combustión en sus hojas y ramas y por ello pasa en la casi totalidad de su superficie durante el año 2016 a valores de actividad fotosintética baja y muy baja.

Las especies que experimentaron menos cambios son los matorrales y los melojares. Los primeros porque tenían una actividad baja, típica del verano, y por ello, no se observan cambios bruscos en las imágenes siguientes, pero si en los meses de invierno de 2016 que deberían tener actividad fotosintética y no la generan porque han desaparecido con el incendio. Los segundos redujeron su actividad fotosintética (media y alta) del 98% a un 32% debido sobre todo a las destrucciones de las copas pero son los que empiezan a regenerarse con mayor rapidez en los primeros meses del 2016.

Como resultados obtenidos se ha comprobado con estos Índices NDVI que tras el incendio la actividad fotosintética cambió a muy baja y nula, siendo en el ciclo anterior media y baja, debido en parte a las elevadas temperaturas y a la sequía propia del verano y evoluciona a muy baja y baja en las zonas más castigadas por el incendio como las de matorral y pinares. Con estos índices de NDVI analizados antes y durante los 8 meses posteriores se ha podido comprobar que todavía la regeneración de la vegetación está siendo lenta, debido a la gran severidad que tuvo el incendio y la gran amplitud superficial del mismo

Este proyecto puede ser mejorado y ampliado a través del empleo de imágenes de satélite de mayor resolución como pueden ser las del Sentinel, y a través del estudio a más largo plazo y exhaustivo de la regeneración de la vegetación, evaluando su respuesta a través del NDVI, con el fin de cuantificar la repercusión de los incendios forestales en la naturaleza a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastarrika A., Chuvieco E., y Martín M. (2011). Mapping burned area from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment* (115), 1003-1012.
- Blackburn G., y Milton E. (1995). Seasonal variations in the spectral reflectance of deciduous tree canopies. *International Journal of Remote Sensing* (16), 709-720.
- Caetano M., Mertes L., y Pereira J. (1994). Using spectral mixture analysis for fire severity mapping. En ADAI (Ed.), *Proceedings of the 2nd Conference on Forest fire research* (págs. 667-677). Coimbra.
- Chuvieco E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: RIALP S.A.
- Chuvieco E. (2002). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Chuvieco E., y Congalton, R. (1988). Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. *Geocarto International*, 3, 41-53.
- De Santis A., y Chuvieco E. (2007). Burn severity estimation from remotely sensed data: performance of simulation versus empirical models. *Remote Sensing of Environment* (108), 422-435.
- Dedios Mimbela N. (2006). Análisis de diferentes métodos de clasificación de una imagen de satélite para caracterizar la superficie afectada por incendio forestal en ecosistemas de bosque.
- Díaz Delgado. (2003). Efectos de la recurrencia de los incendios sobre la resiliencia postincendio de las comunidades vegetales de Cataluña a partir de imágenes satélite. *Ecosistemas* (3).
- Duncan J., Stow D., Fanklin J., y Hope J. (1993). Assessing the relationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, New Mexico. *International Journal of Remote Sensing* (14), 3395-3416.
- Esperanza F., y Zerda H. (2002). *Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales*. Santiago de Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales.
- García Martínez E., y Pérez-Cabello F. (2015). Análisis de la regeneración vegetal mediante imágenes Landsat-8 y el producto MCD15A2 de MODIS: el caso del incendio de P Pindo (Galicia). En *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (págs. 621-630). Universidad de Zaragoza - AGE.
- Guyot G., Baret F., y Jacquemoud S. (1992). Imaging spectroscopy for vegetation studies. En F. Toselli, y J. Bodechtel (Edits.), *Imaging Spectroscopy: Fundamentals and Prospective Applications* (págs. 145-165). Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Hope A., y McDowell T. (1992). The relationship between surface temperature and spectral vegetation index of a tallgrass prairie: Effects of burning and other landscape controls. *Journal Remote Sense* (13), 2849-2863.

- Hunt E., y Rock B. (1989). Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment* (30), 43-54.
- Jia Z., Yang J., Wu X., Wang F., y Liu S. (2006). The sensitive determination of nuclei acids using a fluorescence-quenching method. *Luminescence*, 4 (21), 207-212.
- Key C., y Benson N. (2006). Landscape Assessment (LA). Sampling and Analysis Methods, en FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. En D. Lutes, R. Keane, y J. Carattiet (Edits.), *Integration of Standardized Field Data Collection Techniques and Sampling Design With Remote Sensing to Assess Fire Effects*. Fort: Department of Agriculture, Forest.
- Le Houerou H. (1973). Fire and vegetation in Mediterranean basin. *Proceedings of 13th Annual Tall Timber Fire Ecology Conference* (13), 237-277.
- López Balsera M. (2015). *Estimación del área quemada en los incendios forestales del Alhama de Almería y Cogolludo de 2014 a partir de imágenes de los satélites TERRA, SPOT 5 y LANDSAT 8*. Facultad de Filosofía y Letras.
- Lutes D., Keane R., Caratti J., Key C., Benson N., Sutherland S., y Gangi L. (2006). *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*.
- Manzo Delgado L., y López García J. (2013). Detención de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post - incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2(13), 66-83.
- Miller A., y Yool S. (2002). Mapping forest post fire canopy consumption in several overstory types using multitemporal Landsat. *Remote Sensing of Environment* (82), 481-496.
- Pereira J., Sa A., Sousa A., Martín M., y Chuvieco E. (1999). Regional-scale burnt area mapping in Southern Europe using NOAA-AVHRR 1 km data. En E. Chuvieco (Ed.), *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. Springer-Verlag (págs. 139-155). Berlín.
- Rodríguez-Moreno V.M. y Bullock S.H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *En Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (4), 611-623.
- Rouse J., Haas R., Schell J., y Deering D. (1973). Monitoring vegetation system in the great plains with ETRS. *En Third ERST Symposium* (págs. 309-317). NASA.
- Viedma O., y Chuvieco E. (2005). *Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la Hoya de Buñol (Valencia)*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares.
- Whelan J. (1995). *The ecology of fire*. Cambridge: University Press.
- White J., Ryan K., y Running S. (1996). Remote sensing of forest fire. International Journal of Wildland Fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 3(6), 125-136.

MORFOLOGÍAS FLUVIO-GLACIARES DEL CRÁTER GALE Y SUS ANÁLOGOS TERRESTRES, COMO EVIDENCIAS DEL CLIMA FRÍO Y HÚMEDO DEL MARTE PRIMITIVO.

Cristina Robas García¹, Ana Nieto Masot² y Susanne Schnabel³

¹ Investigadora predoctoral. Universidad de Extremadura y Centro de Astrobiología c.robasgarcia@gmail.com.

² Área de Geografía Humana. Departamento de A. y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, Campus Universitario, s/n, 10070, Cáceres, España, ananieto@unex.es.

³ Área de Geografía Física. Departamento de A. y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura, Campus Universitario, s/n, 10070, Cáceres, España., schnabel@unex.es.

RESUMEN

Hace aproximadamente 3.500 – 3.700 millones de años, Marte sostuvo un ciclo hidrológico, caracterizado por la presencia de glaciares y agua líquida, en forma de ríos y lagos parcial o totalmente helados, configurando un paisaje similar a los que se pueden encontrar actualmente en diversas regiones de nuestro planeta, tal y como evidencia el análisis de imágenes procedentes de orbitadores terrestres y marcianos.

El objetivo principal del proyecto consiste en caracterizar los ambientes glaciares, periglaciares y fluviales del marciano cráter Gale, a partir de un estudio morfológico del mismo, que permita comprender cómo fue el clima en el Marte primitivo. Para ello, se empleará el estudio de análogos, es decir, de zonas de nuestro planeta que presentan características geomorfológicas similares a las originadas en el pasado en Marte (Johnsson, 2012). Todo ello se realizará mediante SIG y teledetección, lo cual permite la integración de datos procedentes de los instrumentos a bordo de diversas sondas enviadas a Marte, como son las imágenes, MOLA, HiRISE y CTX, y de orbitadores terrestres como las imágenes procedentes de Google Earth y del satélite Landsat 8. Este SIG permitirá la identificación de diversas estructuras y procesos imperantes en la superficie marciana, gracias a la comparación con sus análogos terrestres, poniendo especial interés en aquellos relacionados con la actividad glaciar, periglacial y fluvial.

Palabras Clave: Geomorfología, Cráter Gale, Marte, Teledetección, Sistemas de Información Geográfica.

ABSTRACT

Approximately 3.500 - 3.700 billion years ago, Mars held a hydrological cycle, characterized by the presence of glaciers and liquid water in the form of rivers and lakes partially or completely frozen, forming a similar landscape that can currently be found in various regions of our planet, as evidenced by analyzing images from Mars and Earth orbiters.

The main objective of the project is to characterize the glaciers, periglacial and fluvial environments of the Martian Gale crater, from a morphological study of crater, studying its morphology with the aim of understanding the climate on early Mars. To this end, we are used the study of analogues, they are areas of our planet which present similar geomorphological characteristics to those originated in the past on Mars (Johnsson, 2012). This will be done through GIS and remote sensing, which allows integration of data from instruments aboard different probes sent to Mars, such as MOLA, HiRISE and CTX images, and Earth orbiters as images from Google Earth and Landsat 8. This GIS will allow the identification of various structures and processes prevailing on the Martian surface, by comparison with their terrestrial analogs, putting special emphasis on those related to glacier, periglacial, and fluvial activity.

Key Words: Geomorphology, Gale Crater, Mars, Remote Sensing, Geographic Information Systems

INTRODUCCIÓN

El Marte primitivo y el Marte actual son muy diferentes. Su registro geológico supera los 4.000 millones de años y su superficie ha sido alterada a lo largo del tiempo por la actividad atmosférica, los volcanes y los cráteres de impacto, entre otros. Las últimas investigaciones han permitido comenzar a comprender la historia del planeta, lo que es importante para entender cómo ha llegado a la situación actual y qué procesos han contribuido en dicha evolución, teniendo en cuenta la escala de tiempo geológico. Por ejemplo, el mapa topográfico de Marte (Figura 1) revela las huellas de la presencia en el hemisferio sur del planeta de numerosos ríos que fluyeron hacia el hemisferio norte, desembocando en una gran depresión, interpretada como un antiguo gran océano, conocido como Oceanus Borealis (Baker et al., 2000; Grotzinger et al., 2014; Oehler et al., 2016), que constituye la mayor evidencia del cambio climático a escala planetaria (Brakenridge, 1990). Sin embargo, la historia climática de Marte todavía hoy es objeto de debate, haciendo fundamental el análisis visual de imágenes de satélite para mejorar la comprensión de las condiciones climáticas del Marte primitivo.

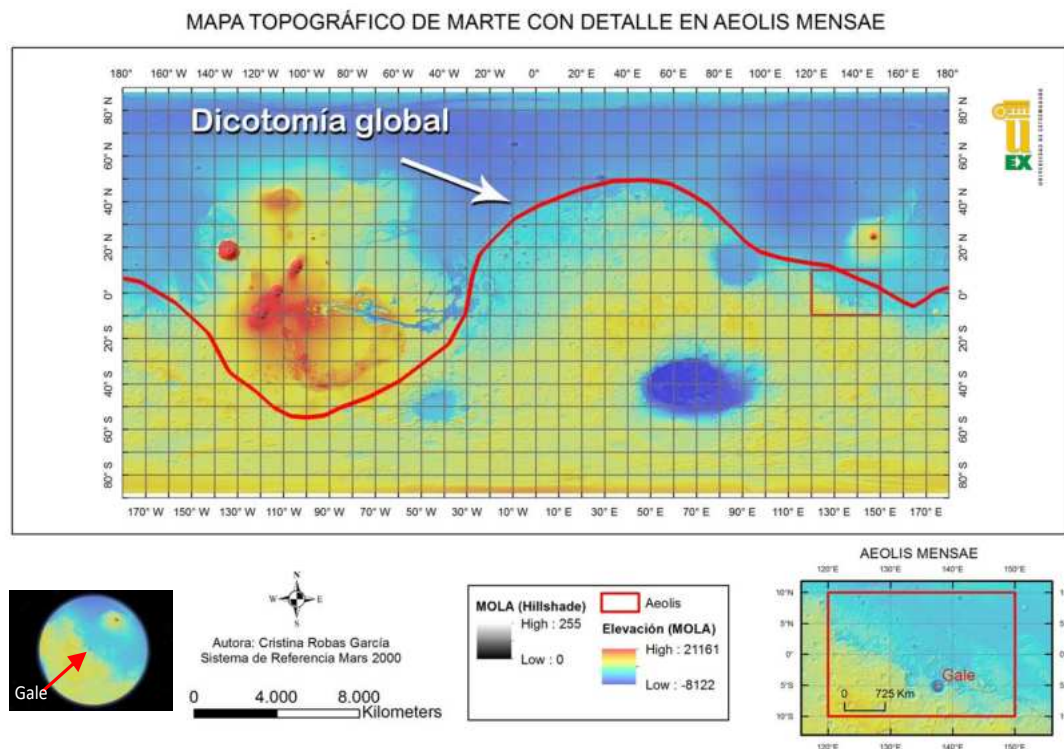


Figura 1. Mapa topográfico global 2D y 3D con detalle de Aeolis Mensae. Coloreado con el mapa MOLA (transparencia del 40%), en el que los tonos anaranjados se corresponden con zonas de mayor elevación y los azules representan zonas deprimidas. Utilizando como mapa base un hillshade del mapa MOLA para mejorar la idea del relieve. La línea roja constituye una aproximación de la dicotomía global.

ZONA DE ESTUDIO

El cráter Gale, formado por un impacto (Wray, 2013; Fairén et al., 2014) en el momento de transición de un clima frío y húmedo a otro más frío y seco (Milliken et al., 2010; Le Deit et al., 2013; Bennet & Bell III, 2014; Vasavada et al., 2015), se localiza en las tierras altas de Marte (Anderson & Bell III, 2010; Milliken et al., 2010; Thomson et al., 2011; Le Deit et al., 2011; Le Deit et al., 2013), en la región de Aeolis Mensae (Fairén et al., 2014), muy próximo a la dicotomía global, que separa las tierras bajas del norte, en las que se encontraba Oceanus Borealis, de las altas del sur, caracterizadas por la presencia de multitud de cráteres de impacto

(Anderson & Bell III, 2010; Milliken et al., 2010; Thomson et al., 2011; Gómez-Elvira et al., 2012; Schwenzer et al., 2012; Le Deit et al., 2013; Oehler, 2013; Wray, 2013; Grant et al., 2014; Fairén et al., 2014; Grotzinger et al., 2015; Oehler et al., 2016).

Este cráter tiene un interés particular, debido a las evidencias geomorfológicas y mineralógicas de procesos acuosos (Le Deit et al., 2011; Thomson et al., 2011; Le Deit et al., 2013; Wray, 2013; Jaumann et al., 2014; Vasavada et al., 2015). En cuanto a su geomorfología, el mapa topográfico (Figura 2) sugiere que pudo haber albergado un lago (Anderson & Bell III, 2010; Le Deit et al., 2013; Fairén et al., 2014; Vasavada et al., 2015) que quizás proporcionó multitud de ambientes favorables para que fuera posible la vida marciana (Oehler & Allen, 2008; Anderson & Bell III, 2010). Mientras que la importancia de su mineralogía radica en que los minerales contienen el registro de las condiciones ambientales en el momento de su formación (Abramov & Kring, 2005; Milliken et al., 2010; Le Deit et al., 2013) y el cráter Gale, en su montículo central, llamado Aeolis Mons y conocido más informalmente como Mount Sharp (Thomson et al., 2011; Gómez-Elvira et al., 2012; Schwenzer et al., 2012; Le Deit et al., 2013; Kite et al., 2013b; Wray, 2013; Bennet & Bell III, 2014; Fairén et al., 2014; Grotzinger et al., 2014; Grotzinger et al., 2015; Newsom et al., 2015; Oehler et al., 2016), contiene una serie estratigráfica en la que exhibe diversos minerales, algunos de ellos formados por interacción acuosa, por lo que se puede afirmar que Gale acumula una pequeña fracción de la historia de Marte (Kite et al., 2013; Kite et al., 2013b; Wray, 2013; Grotzinger et al., 2015), permitiendo conocer la transición climática que tuvo lugar en el planeta entre el Noeico y el Hespérico (Milliken et al., 2010; Le Deit et al., 2011; Le Deit et al., 2013; Kite et al., 2013b; Bennet & Bell, 2014; Vasavada et al., 2015).

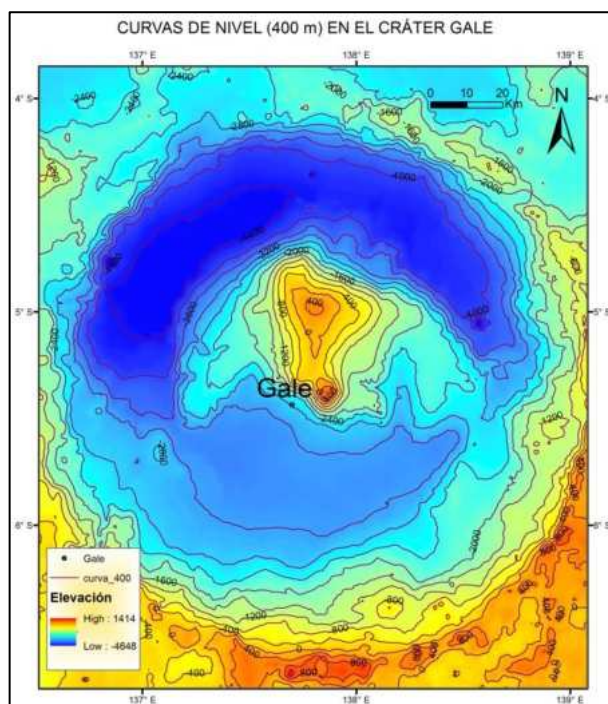


Figura 2. Mapa topográfico MOLA del cráter Gale con curvas de nivel cada 400 m. Se observa al sur del cráter, en tonos anaranjados, una mayor elevación y al norte, más cerca de la dicotomía global, en tonos azules, una elevación menor. Los tonos azul oscuro al norte del montículo central del cráter suponen una gran depresión del terreno en la que pudo haber albergado un gran lago.

METODOLOGÍA

El análisis de las imágenes marcianas de la superficie del cráter Gale, procedentes de los instrumentos MOLA (de la misión Mars Global Surveyor), HiRISE y CTX (de la misión Mars

Reconnaissance Orbiter), junto con las de paisajes terrestres procedentes del satélite Landsat 8 OLI y del visor Google Earth, permite confirmar las pasadas condiciones climáticas marcianas mediante la identificación de diversas estructuras y procesos imperantes en la superficie de Marte gracias a la comparación con sus análogos en la Tierra, poniendo especial interés en aquellas morfologías relacionadas con la actividad glaciaria, periglaciaria y fluvial.

Importancia de los Sistemas de Información Geográfica Planetarios

Los Sistemas de Información Geográfica planetarios, en este caso concreto el empleo de ArcGis, facilitará el análisis visual de las imágenes procedentes de los distintos orbitadores, ya que permite trabajar con datos de lugares remotos y centralizar la información de todas las misiones realizadas en la superficie del cráter Gale en un único mapa, para de este modo crear una reconstrucción detallada de la historia geológica de Marte.

Relación de software utilizados

Previo a la utilización de ArcGis, en sus extensiones ArcMap, ArcScene, ArcCatalog y ArcGlobe, se han empleado geoportales, para una mayor familiarización con los datos, como primer contacto con las imágenes procedentes de teledetección del planeta Marte, algunos de ellos son:

- *Mars Trek*
- *JMars*
- *USGS Mars Global GIS Mapping Application*
- *Google Mars y Google Earth*

Integración de los datos en el Sistema de Información Geográfica

Los datos MOLA, de 100 m de resolución espacial, se utilizan para tener un conocimiento básico del planeta, necesario para realizar este proyecto, aporta información sobre la elevación del terreno y permite hacerse una idea de cómo fue Marte en el pasado. Además, a partir de éste se realizan mapas *hillshade*, de curvas de nivel, de pendientes, e incluso, modelos TIN que permiten generar mapas en 3 dimensiones. Estos datos se descargan de la página del USGS (*United States Geological Survey*) y de la web del PIGWAD (*Planetary Interactive G.I.S. on the Web Analyzable Database*): http://webgis.wr.usgs.gov/pigwad/down/mars_dl.htm, en formato “JP2”.

Las imágenes HiRISE, de 30 cm de resolución espacial, utilizadas para visualizar detalles en zonas específicas, se obtienen a través de la página del instrumento (<http://hirise.lpl.arizona.edu/>), a la que se accede desde el visor *Google Mars*. Se descargan en formato “JP2” y deben ser tratadas antes de introducirlas al SIG. Para ello, se abre la ventana de comandos de la carpeta que contiene este tipo de imágenes y se pega el siguiente texto: “fix_jp2 the_hirise_image.jp2”. Este proceso debe repetirse para cada una de las imágenes HiRISE que se desea añadir al mapa.

Para obtener el *Product ID* de las imágenes CTX, de 6 m de resolución espacial, disponibles en el área de estudio, se accede desde la página web *Mars Orbital Data Explorer* (<http://ode.rsl.wustl.edu/mars/indexproductsearch.aspx>), a *Data Product search, Find by location* y tras completar todos los campos necesarios, se obtiene un listado con todas las imágenes CTX disponibles y sus *Products ID*. Una vez se conocen los *Products ID* de estas imágenes, se procede a su descarga desde la página web *Mars Reconnaissance Orbiter Context Camera (CTX) Image Map* (<http://global-data.mars.asu.edu/bin/ctx.pl>). En esta página web, se hace zoom sobre la zona y se van descargando en formato “JPEG2000” e “ISIS Header”, las imágenes CTX cuyos *Products ID* aparezcan en el listado. Se debe hacer un tratamiento previo de las mismas, antes de su introducción en el Sistema de Información Geográfica. Para agilizar este trabajo, se puede descargar el Script de Python, que permite georreferenciar y dar

información de la proyección en Arc10.3 para las imágenes ASU JP2 CTX, extrayendo el `ctx_project.py` en la misma carpeta en la que se encuentran las CTX .jp2 y CTX.scyl.isis.hdr. *Planetary Environments* (<http://www.physics.open.ac.uk/sjconway/datasets.php>).

Las imágenes MOLA, HiRISE y CTX, estas dos últimas ya tratadas, se exportan al programa ArcGis, una plataforma de información que posibilita crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de los usuarios. Además, esta plataforma permite implementar Sistemas de Información Geográfica no sólo del planeta Tierra, sino también de otros planetas, gracias a que tiene los esferoides y Datum adecuados para ello.

El empleo de ArcGis, permite centralizar los datos de todas las misiones, realizadas en el cráter Gale, en un único mapa y de este modo, crear una reconstrucción detallada de la historia geológica de Marte.

Para integrar de forma adecuada los datos marcianos en ArcGis, se pueden utilizar dos sistemas longitudinales distintos, uno entre -180° y 180° , con meridiano central en 0° y otro entre 0° y 360° , con meridiano central en 180° (Oosthoek, 2007). Se debe utilizar el sistema de referencia adecuado (Oosthoek, 2007), en este caso el primero.

Las imágenes CTX presentan el sistema de proyección más común (Oosthoek, 2007), el *Equidistant Cylindrical* con 180° , el mosaico MOLA, el sistema de referencia *Simple Cylindrical Mars* y las imágenes HiRISE, el sistema de referencia *Equirectangular Mars*. Todos ellos con meridiano central en 180° .

Los datos deben estar en el mismo sistema de referencia, por lo que se van a reproyectar a *GCS Mars 2000*, que es el establecido por la Unión Astronómica Internacional como sistema de referencia para Marte. Este sistema tiene su meridiano central en 0° y hace que la zona ecuatorial tenga el menor grado de distorsión y los polos el mayor (Oosthoek, 2007). Al cambiar el sistema de referencia, también ha cambiado el Datum, que originalmente era *D Mars* para las CTX y MOLA y *D unknown* para las HiRISE y, se ha transformado en *D Mars 2000*.

En cuanto a los datos terrestres, procedentes del satélite Landsat 8 OLI, para su correcta visualización en ArcGis se utiliza el sistema de referencia WGS 1984 UTM, de carácter global, desarrollado por el Departamento de Defensa y destinado a actividades de mapeo, posicionamiento y navegación (Snay & Soler, 2000), en la zona 12N para la escena 36-33, zona 7N para la escena 68-11, zona 27N para la escena 218-15, y zona 28N para la escena 217-15. Todas ellas con datum D WGS 1984.

Cartografía

Para realizar el estudio de análogos, se generarán *Layout* en los que aparezcan las morfologías identificadas en Gale, junto a sus análogas terrestres. Para ello se deberán unir las 11 bandas espectrales de cada escena descargada del satélite Landsat 8 OLI, en una única imagen, con extensión .img, y 16 bits, permitiendo un gran contraste visual correspondiente a los 65.535 niveles de gris.

A continuación, se cambiará la simbología a color verdadero (4, 3, 2), que es la combinación más próxima a la percepción de la tierra desde el espacio y para mejorar la visualización, se realizará un *pansharpening*, cuyo objetivo es fusionar la banda pancromática, que en este caso se corresponde con la banda 8, de alta resolución espacial, 15 m, con la imagen multiespectral, de gran resolución espectral, obteniendo así una imagen con alta resolución espacial y espectral (Locan et al., 2015). Se utilizará el filtro IHS que permite seguir visualizando la imagen en color verdadero. Finalmente se eliminará el valor de fondo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta ocasión, la importancia del cráter Gale se debe a la aparición de morfologías que revelan la antigua presencia de un ciclo hidrológico, tales como la existencia de cuencas cóncavas, morfologías lobulares, restos de eskers, morrenas, drumlins y depósitos en forma de abanico que delatan la existencia de antiguos glaciares, junto con hendiduras fluviales, morfologías invertidas, suelos poligonales y depresiones del terreno, que evidencian la actividad fluvial y lacustre.

Las características lobulares (Figura 3) son comunes en Marte, fundamentalmente en las proximidades de las latitudes medias y suelen estar asociadas a los terrenos desgastados que aparecen a lo largo de la dicotomía global (Colaprete & Jakosky, 1998; Baker et al., 2010; Chuang et al., 2014; Fastook et al., 2014). En el cráter Gale estas morfologías se encuentran localizadas al norte del montículo central (Fairén et al., 2014) y no emanan de un circo obvio, sino de una cuenca cóncava, lo cual es coherente con que estos glaciares tengan su origen en un ambiente periglacial (Marchant & Head, 2003). Otro argumento a favor de un origen periglacial sería la superposición de lóbulos (Figura 3 B), típica de ambientes de permafrost en la Tierra (Marchant & Head, 2003; Baker et al., 2010; Fairén et al., 2014) que, junto con su textura superficial (Figura 3 B), caracterizada por la presencia de surcos transversales consecuentes con fracturas de origen glaciar (Fairén et al., 2014), constituye una prueba más del clima frío y húmedo en el pasado.

Estas morfologías se asemejan a los glaciares rocosos terrestres (Whalley & Azizi, 2003; Anderson & Bell III, 2010; Hubbard et al., 2011; Fairén et al., 2014; Hubbard et al., 2014), caracterizados por sus lenguas o lóbulos, como las observadas en Breidamerkurjökull, al sur de los glaciares de Vatnajökull, Islandia (Figura 3 A)(Howarth, 1971; Nick et al., 2007; Nagle, 2008).

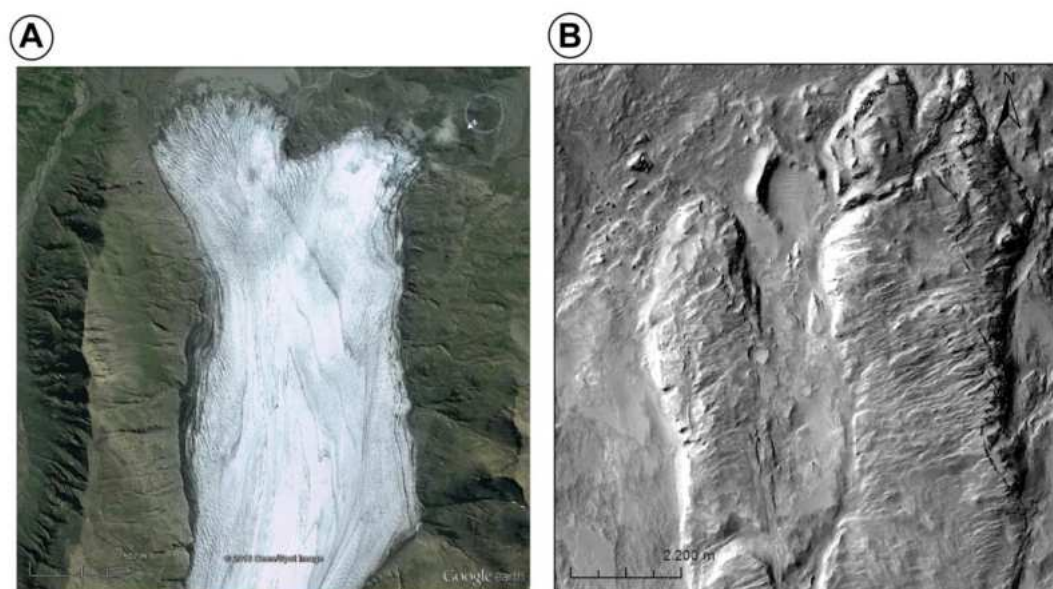


Figura 3. A) Imagen procedente del satélite Landsat 8 OLI. Glaciar Breidamerkurjökull, Islandia. B) Mosaico CTX. Morfologías lobulares localizadas en la mitad norte del monte central del cráter Gale.

Al noreste de las morfologías lobuladas y en la desembocadura de un valle, que probablemente fue la principal vía de transporte de material, aparece un amplio depósito en forma de abanico (Figura 4), cuya formación puede estar relacionada con el derretimiento nival, ya que presenta una textura rugosa consistente con un flujo glaciar viscoso, pudiendo ser resultado de la deformación del terreno producida por el hielo (Anderson & Bell III, 2010). Este depósito, que se apoya sobre una pared de montículos lineares, además presenta características glaciares asociadas, como pueden ser las crestas arqueadas perpendiculares al eje de los lóbulos, interpretadas como morrenas terminales.

Los montículos lineares hallados en Gale (Figura 5 B), son similares al campo de drumlins que aparece en Múlajökull (Figura 5 A), en el glaciar Hofsjökull, en la zona central de Islandia, formado por el retroceso del glaciar (Johnson et al., 2010). Por lo que su presencia en la zona de Gale evidencia la hipótesis del origen glaciar, pudiendo ser el resultado del retroceso de las morfologías lobuladas.

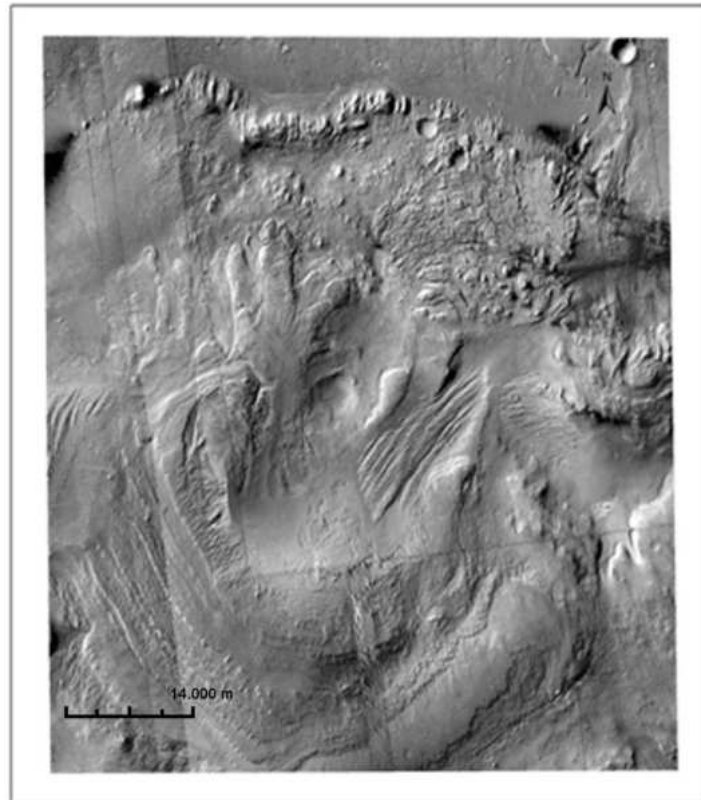


Figura 4. Mosaico CTX. Contexto en el que aparecen las morfologías lobulares.

El fondo del cráter se caracteriza por la presencia de canales invertidos (Figura 6) (Anderson & Bell III, 2010; Fairén et al., 2014), morfologías muy comunes en Marte que aparecen particularmente bien preservadas en la región de Aeolis Mensae (Pain et al., 2007; Williams, 2008; Burr et al., 2009; Williams et al., 2009; Clarke & Stoker, 2011; Le Deit et al., 2013), en la que se encuentra el cráter Gale. Son el resultado de la preservación de canales fluviales (Williams et al., 2007; Burr et al., 2009; Clarke & Stoker, 2011), gracias a la cementación del material que transportaba (Williams & Edge, 2005; Pain et al., 2007; Williams et al., 2007; Burr et al., 2009; Anderson & Bell III, 2010; Le Deit et al., 2013; Fairén et al., 2014; Zaki, 2016). Debido a la abundancia de pruebas para las condiciones periglaciares en Gale, se puede considerar que la cementación pudo ser facilitada por la acción del hielo, haciendo que estos sedimentos fueran más resistentes a la erosión que el material circundante (Williams, 2008; Fairén et al., 2014). De este modo, la erosión eliminaba el material menos resistente y el canal permanecía como un reborde elevado. En ocasiones, un canal puede presentar un perfil normal que se invierte, es decir, puede cambiar de topografía negativa a positiva a lo largo de su recorrido.

Estos lugares tienen un importante potencial astrobiológico, su estudio permite conocer más acerca de los ambientes fluviales y de la vida, debido a que conservan la forma del canal original y sus minerales contienen el registro de las condiciones fluviales durante el periodo de tiempo que estuvo activo (Clarke & Stoker, 2011; Zaki, 2016) y puesto que estas regiones en la Tierra son excelentes para encontrar fósiles (Clarke & Stoker, 2011).

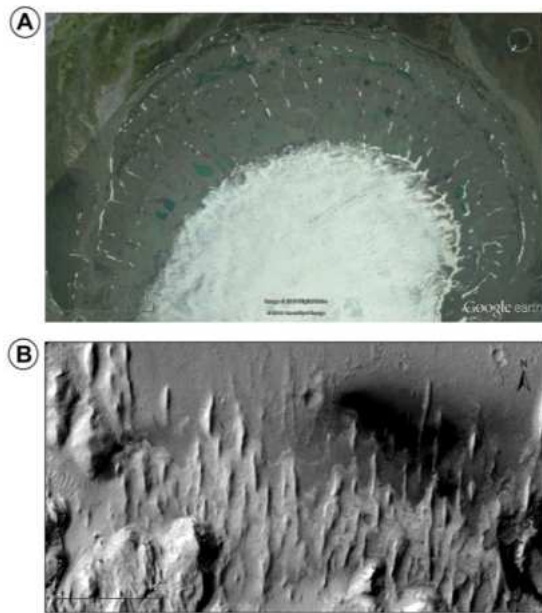


Figura 5. A) Imagen procedente del visor Google Earth. Glaciar Mulajökull, Islandia. B) Mosaico CTX. Montículos lineares interpretados como posible campo de drumlins al norte de las morfologías lobulares del cráter Gale.

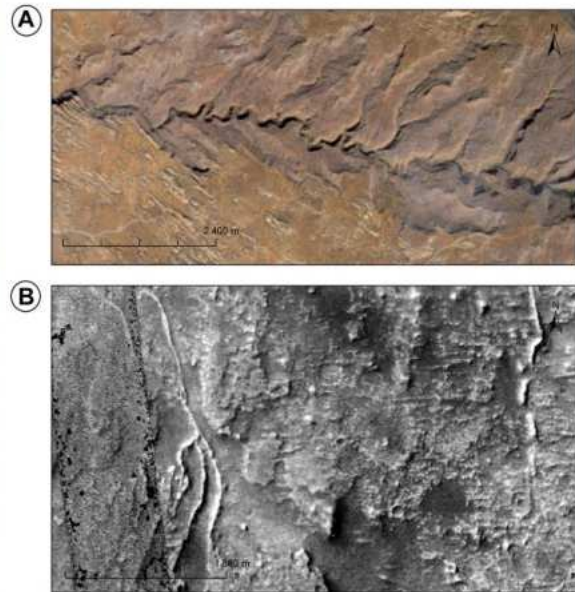


Figura 6. A) Imagen procedente del satélite Landsat 8 OLI. Canales invertidos en Green River, Utah. B) Mosaico CTX. Canales invertidos al sureste del monte central del cráter Gale.

Las torrenteras son unas incisiones que aparecen en terrenos que presentan desnivel, provocadas por la erosión acuosa. Estas morfologías comunes en Marte son más abundantes en el hemisferio sur que en el norte (Treiman, 2003; Levy et al., 2009b; Mangold et al., 2010; Reiss et al., 2010). Predominan en las paredes internas de los cráteres de impacto, aunque también se han identificado en las externas o en los montículos centrales (Treiman, 2003; Berman et al., 2005; Mangold et al., 2010). Únicamente requieren de una topografía en pendiente para su formación (Treiman, 2003) y suelen encontrarse en localidades con desniveles de entre 10° y 20° (Mangold et al., 2010; Reiss et al., 2010), coincidiendo con las pendientes que presenta el cráter Gale en sus bordes (Figura 7 B).

Las torrenteras observadas en la Tierra, en los Valles Secos de la Antártida (Figura 7 A), permanecen activas siempre y cuando las temperaturas permitan la fusión de la nieve y el hielo (Head et al., 2007). Esto sugiere que en Marte (Figura 7 B) las torrenteras pudieron ser resultado de la fusión de neveros (Christensen, 2003; Head et al., 2007; Levy et al., 2009; Carr & Head, 2010b; Palucis et al., 2013; Jaumann et al., 2014).

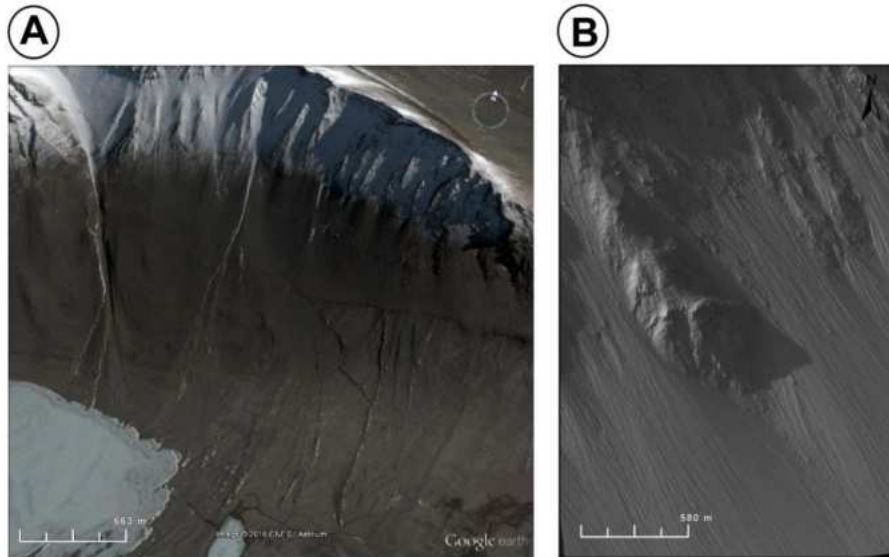


Figura 7. A) Imagen procedente del visor Google Earth. Torrenteras en los Valles Secos de la Antártida.

B) Mosaico CTX. Posibles torrenteras en la cara interna del borde noroeste del cráter Gale.

Con respecto a los suelos poligonales (Figura 8), para su identificación se requiere de imágenes de muy alta resolución. La aparición de estas morfologías en depósitos de torrenteras y valles implica que su formación está ligada a la presencia de agua (Levy et al., 2009c), demostrando que el agua fluyó por la superficie de Gale. Estos suelos poligonales pueden deberse a fracturas rellenas de agua, que se congelaron formando cuñas de hielo en condiciones de permafrost (Mellon et al., 2008; Levy et al., 2009c; Le Deit et al., 2013; Hallet et al., 2013; Oehler, 2013; Fairén et al., 2014; Oehler et al., 2016), apuntando de nuevo a la presencia de hielo en el planeta. En muchos casos se organizan formando patrones circulares (Oehler, 2013).

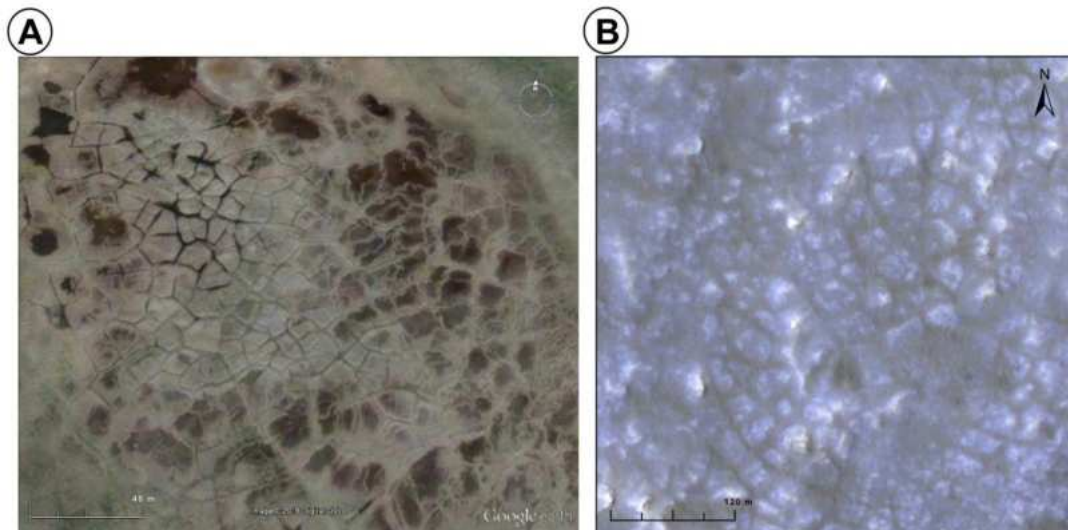


Figura 8. A) Imagen procedente del visor Google Earth. Suelos poligonales en Tuktoyaktut, al norte de Canadá. B) Mosaico CTX/HiRISE. Suelos poligonales al sureste del monte central del cráter Gale, en un depósito de valle.

En el cráter Gale estas morfologías se encuentran en un depósito formado por una red de valles localizada al sureste del montículo central (Figura 9). Esta red de valles podría ser de origen glaciar o fluvial, sin embargo, presenta algunas características asociadas difíciles de explicar desde el punto de vista fluvial, mientras que por el contrario, son compatibles con una interpretación glaciar, como pueden ser la presencia de pocos afluentes y la ausencia de un canal

obvio en el valle (Figura 9 B) o la presencia en la desembocadura del valle de formas de relieve típicas de la actividad glaciaria, como una cresta arqueada interpretada como una morrena terminal o una cresta sinuosa interpretada como un esker (Figura 9 C) (Fairén et al., 2014).

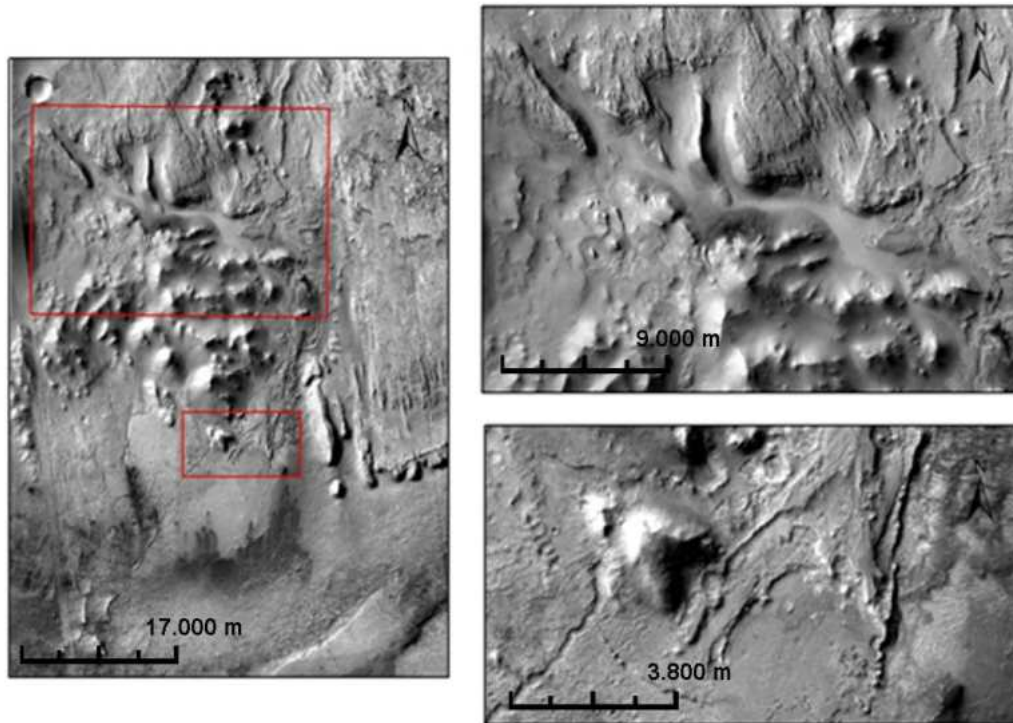


Figura 9. Mosaico CTX. Redes de valles de posible origen glaciario.

CONCLUSIONES

Las morfologías identificadas en Gale y la comparación con sus análogas terrestres conduce a conocer su origen, revelando la existencia de un ciclo hidrológico en el pasado que operó en un ambiente frío, en el que se dieron precipitaciones en forma de nevadas, puesto que las precipitaciones en forma de agua líquida están muy cuestionadas por el clima frío. Las precipitaciones contribuyeron a la formación de glaciares rocosos y la fusión de neveros posibilitó la creación de cañones, puesto que la helada superficial pudo inhibir la percolación del agua. Los cañones recargaron episódicamente las zonas más profundas del cráter formando un gran lago que probablemente estuvo parcial o totalmente cubierto de hielo. El ciclo hidrológico fue posiblemente capaz de sustentar un ambiente habitable, en el que pudieron existir procesos fluviales y glaciares y que, probablemente, sea una expresión local de las condiciones ambientales globales, constituyendo una nueva evidencia del cambio climático global.

En conclusión, el cráter Gale revela una parte importante de la historia geológica y climática del planeta. La detección de minerales hidratados en el cráter, junto con los datos aportados por las imágenes, sugieren que el cráter pudo haber albergado procesos periglaciares, en un ambiente de permafrost, haciendo de Gale un lugar atractivo en términos de habitabilidad y búsqueda de biomarcadores, ya que pudo proporcionar variedad de ambientes favorables para que fuera posible la vida marciana. Asimismo, determinar si Marte fue un planeta frío y húmedo al principio de su historia es de gran importancia, puesto que la vida en la Tierra pudo haberse originado en ambientes fríos y en consecuencia esto hace que aumente el interés por este tipo de ambientes en la superficie marciana.

A lo que hay que añadir que el estudio del cráter es totalmente actual y su importancia a nivel planetológico y astrobiológico, crece continuamente con los nuevos descubrimientos que está haciendo desde 2012 el rover Curiosity.

En el futuro, se espera se continúe con el estudio de análogos marcianos, para contribuir a mejorar el conocimiento de la génesis de este tipo de geomorfologías en Marte, a la vez que se proporciona un conocimiento más robusto de la historia del agua en este planeta, ya que es inestimable lo que todavía queda por aprender, por eso es esencial continuar investigando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abramov, O.; Kring, D.A.; (2005). Impact Induced Hydrothermal Activity on Early Mars. *Journal of Geophysical Research*, Vol.110, E12: 1-19.

Anderson, R.B.; Bell III, J.F.; (2010). Geologic Mapping and Characterization of Gale Crater and Implications for its Potential as a Mars Science Laboratory Landing Site. *Mars: The International Journal of Mars Science and Exploration*, Vol. 5: 76-128.

Baker, D.M.H.; Head, J.W.; Marchant, D.R.; (2010). Flow Pattern of Lobate Debris Aprons and Lineated Valley Fill North of Ismeniae Fossae, Mars: Evidence for Extensive Mid-Latitude Glaciation in the Late Amazonian. *Icarus*, Vol. 207: 186-209.

Baker, V.R.; Strom, R.G.; Dohm, J.M.; Gilick, V.C.; Kargel, J.S.; Komatsu, G.; Ori, G.G.; Rice, J.W.; (2000). Mars: Oceanus Borealis, Ancient Glaciers, and the Megaoutflow Hypothesis. *Lunar and Planetary Science XXXI*, Vol. 1863: 1-2.

Bennet, K. A.; Bell III, J.F.; (2014). A Global Survey of Central Mounds in Large Martian Craters: Implications for Paleolakes. *Lunar and Planetary Science Conference*, N° 1539: 1-2.

Berman, D.C.; Hartmann, W.K.; Crown, D.A.; Baker, V.R.; (2005). The Role of Arcuate Ridges in the Newton Basin Region of Mars. *Icarus*, Vol.178. Issue 2: 465-486.

Brakenridge, G.R.; (1990). The Origin of Fluvial Valleys and Early Geologic History, Aeolis Quadrangle, Mars. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 95, N° B11: 17,289-17,308.

Burr, D.M.; Williams, R.M.E.; Howard, A.; Zimbelman, J.; Brennand, T.; Enga, M-T.; (2009). Pervasive Aqueous Paleoflow Features in the Aeolis/Zephyria Plana Region, Mars. *Icarus*, Vol.200, N° 1: 52-76.

Carr, M. H.; Head, J. W. (2010b). Acquisition and History of Water on Mars. En: A. Cabrol, N. A. Grin, E. (ed.). *Lakes on Mars*. 31-66. Elsevier. United States of America. ISBN: 978-0-44452854-4.

Christensen, P.R.; (2003). Formation of Recent Martian Gullies Through Melting of Extensive Water-Rich Snow Deposits. *Nature*, Vol.422: 45-48.

Chuang, F.C.; Crown, D.A.; Berman, D.C.; Joseph, E.C.S.; (2014). Lobate Debris Aprons and Ice-Rich Flow Features in Eastern Hellas, Mars: Mapping Using THEMIS IR and CTX Data. *Lunar and Planetary Science Conference*, N° 2081: 1-2.

Clarke, J.D.A.; Stoker, C.R.; (2011). Concretions in Exhumed Channels near Hanksville Utah: Implications for Mars. *International Journal of Astrobiology*, Vol.10. Special Issue 03: 161-175.

Colaprete, A.; Jakosky, B.M.; (1998). Ice Flow and Rock Glaciers on Mars. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, N° E3: 5897-5909.

Fairén, A.; Stokes, C.; Davies, N.; Schulze-Makuch, D.; Rodríguez, J.A. P.; Davila, A.; Uceda, E.; Dohm, J.; Baker, V.; Clifford, S.; McKay, C.; Squyres, S.; (2014). A Cold and Hydrological System in Gale Crater, Mars. *Planetary and Space Science* 93-94: 101-118.

Gómez-Elvira, J.; Armiens, C.; Castañer, L.; Domínguez, M.; Genzer, M.; Gómez, F.; Haberle, R.; Harri, A-M.; Jiménez, V.; Kapanpää, H.; Kowalski, L.; Lepinette, A.; Martín, J.; MartínezFrías, J.; McEwan, I.; Mora, L.; Moreno, J.; Navarro, S.; de Pablo, M.A.; Peinado, V.; Peña, A.; Polkko, J.; Ramos, M.; Renno, N.O.; Ricart, J.; Richardson, M.; Rodríguez-Manfredi, J.; Romeral, J.; Sebastián, E.; Serrano, J.; de la Torre Juárez, M.; Torres, J.; Torrero, F.; Urquó, R.; Vázquez, L.; Velasco, T.; Verdasca, J.; Zorzano, M-P; Martín-Torres, J.; (2012). REMS: The Environmental Sensor Suite for the Mars Science Laboratory Rover. *Space Science Reviews*, Vol. 170, Nº 1: 583-640.

Grant, J.A.; Wilson, S.A.; Mangold, N.; Calef, F.; Grotzinger, J.P.; (2014). The Timing of Alluvial Activity in Gale Crater, Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*, Nº 1487: 1-2.

Grotzinger, J.P.; Gupta, S.; Malin, M.C.; Rubin, D.M.; Schieber, J.; Siebach, K.; Sumner, D.Y.; Stack, K.M.; Vasavada, A.R.; Arvidson, R.E.; Calef III, F.; Edgar, L.; Fischer, W.F.; Grant, J.A.; Griffes, J.; Kah, L.C.; Lamb, M.P.; Lewis, K.W.; Mangold, N.; Minitti, M.E.; Palucis, M.; Rice, M.; Williams, R.M.E.; Yingst, R.A.; Blake, D.; Blaney, D.; Conrad, P.; Crisp, J.; Dietrich, W.E.; Dromart, G.; Edgett, K.S.; McLennan, S.M.; Mischna, M.; Ming, D.; Milliken, R.; Newsom, H.; Oehler, D.; Parker, T.J.; Vaniman, D.; Wiens, R.C.; Wilson, S.A.; (2015). Deposition, Exhumation, and Paleoclimate of an Ancient Lake Deposit, Gale Crater, Mars. *Science*, Vol. 350:1-12.

Grotzinger, J.P.; Sumner, D.Y.; Kah, L.C.; Stack, K.; Gupta, S.; Edgar, L.; Rubin, D.; Lewis, K.; Schieber, J.; Mangold, N.; Milliken, R.; Conrad, P.G.; DesMarais, D.; Farmer, J.; Siebach, K.; Calef III, F.; Hurowitz, J.; McLennan, S.M.; Ming, D.; Vaniman, D.; Crisp, J.; Vasavada, A.; Edgett, K.S.; Malin, M.; Blake, D.; Gellert, R.; Mahaffy, P.; Wiens, R.C.; Maurice, S.; Grant, J.A.; Wilson, S.; Anderson, R.C.; Beegle, L.; Arvidson, R.; Hallet, B.; Sletten, R.S.; Rice, M.; Bell III, J.; Griffes, J.; Ehlmann, B.; Anderson, R.B.; Bristow, T.F.; Dietrich, W.E.; Dromart, G.; Eigenbrode, J.; Fraeman, A.; Hardgrove, C.; Herkenhoff, K.; Jandura, L.; Kocurek, G.; Lee, S.; Leshin, L.A.; Leveille, R.; Limonadi, D.; Maki, J.; McCloskey, S.; Meyer, M.; Minitti, M.; Newsom, H.; Oehler, D.; Okon, A.; Palucis, M.; Parker, T.; Rowland, S.; Schmidt, M.; Squyres, S.; Steele, A.; Stolper, E.; Summons, R.; Treiman, A.; Williams, R.; Yingst, A.; MSL Science Team.; (2014). A Habitable Fluvio-Lacustrine Environment at Yellowknife Bay, Gale Crater, Mars. *Science*, Vol.343, Nº 6169: 1-18.

Hallet, B.; Sletten, R.S.; Stewart, W.; Williams, R.; Mangold, N.; Schieber, J.; Summer, D.; Kocurek, G.; MSL Science Team.; (2013). Fracture Networks, Gale Crater, Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*, Nº 3108: 1-2.

Head, J.W.; Marchant, D.R.; Dickson, J.L.; Levy, J.S.; Morgan, G.A.; (2007). Mars Gully Analog in the Antarctic Dry Valleys: Geological Setting and Processes. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, Vol. 1617: 1-2.

Howarth, P.J.; (1971). Investigation of Two Eskers at Eastern Breidamerkurjökull, Iceland. *Arctic and Alpine Research*, Vol. 3, Nº 4: 305-318.

Hubbard, B.; Milliken, R.E.; Kargel, J.S. Limaye, A.; Souness, C.; (2011). Geomorphological Characterization and Interpretation of Mid-Latitude Glacier-Like Form: Hellas Planitia, Mars. *Icarus*, Nº 211: 330-346.

Hubbard, B.; Souness, C.; Brough, S.; (2014). Glacier-Like Forms on Mars. *The Cryosphere*, Nº 8: 2047- 2061.

Jaumann, R.; Neukum, G.; Tirsch, D.; Hauber, E.; Hoffmann, H.; Roatsch, T.; Gwinner, K.; Scholten, F.; Ansan, V.; Baratoux, D.; DiAchille, G.; Duxbury, T.; Erkeling, G.; Foing, B.; Fueten, F.; Van Gasselt, S.; Gupta, S.; Head, J.W.; Hiesinger, H.; Ip, W.H.; Keller, H.U.; Kleinhans, M.; Kneissl, T.; Le Deit, L.; Mangold, N.; McCord, T.B.; Michael, G.; Muller, J.P.; Murray, J.; Pacifici, A.; Platz, T.; Pinet, P.; Pondrelli, M.; Raack, J.; Reiss, D.; Rossi, A.P.; Spohn, T.; Sowe, M.; Stephan, K.; Wendt, L.; Williams, D.A.; The HRSC Science Team.; (2014). The Martian Geomorphology as Mapped by the Marts Express High Resolution Stereo Camera (HRSC): Implications for Geological Processes and Climate Conditions. Lunar and Planetary Science Conference, Vol. 1772: 1-2.

Johnson, M.D.; Schomaker, A.; Benediktsson, I.O.; Geiger, A.J.; Ferguson, A.; Ingólfsson, O.; (2010). Active Drumlins Field Revealed at the Margin of Múlajökull, Iceland: A Surge-Type Glacier. *Geology*, N° 38: 943- 946.

Johnsson, A.; (2012). Cold-Climate Landforms on Mars and Earth-Analogues in Svalbard. Doctoral Thesis A 140. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Gothenburg, Sweden. ISBN: 978-91-628-8537-3. ISSN: 1400-3813.

Kite, E.S.; Halevy, I.; Kahre, M.A.; Wolff, M.J.; Manga, M.; (2013b). Seasonal melting and the formation of sedimentary rock son Mars, with Predictions for the Gale Crater Mound. *Icarus*, Vol. 223: 181-210.

Kite, E.S.; Lewis, K.W.; Lamb, M.P.; Newman, C.E.; Richardson, M.I.; (2013). Growth and Form of the Mound in Gale Crater, Mars: Slope Wind Enhanced Erosion and Transport. *Geology*, Vol.41, N° 5 : 543-546.

Le Deit, L. ; Hauber, E.; Fueten, F.; Pondrelli, M.; Rossi, A.P.; Mangold, N. ; Van Gasselt, S. ; Massé, M. ; Jaumann, R. ; (2011). Geological Analysis of Gale Crater on Mars. European Planetary Science Congress, Vol. 6.

Le Deit, L.; Hauber, E.; Fueten, F.; Pondrelli, M.; Rossi, A.P.; Jaumann, R.; (2013). Sequence of Infilling Events in Gale Crater, Mars: Result from Morphology, Stratigraphy, and Mineralogy. *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.118: 2439- 2473.

Levy, J.; Head, J.; Marchant, D.; (2009c). Thermal Contraction Crack Polygons on Mars: Classification, Distribution, and Climate Implications from HiRISE Observations. *Jorunal of Geophysical Research*, Vol. 114, E01007: 1-19.

Levy, J.S.; Head, J.W.; Marchant, D.R.; (2009b). Thermal Contraction Crack Polygons on Mars: Classification, Distribution, and Context for Phoenix from North and South Polar HiRISE Observations. Lunar and Planetary Science Conference, N° 1616: 1-2.

Levy, J.S.; Head, J.W.; Marchant, D.R.; Dickson, J.L.; Morgan, G.A.; (2009). Geologically Recent Gully-Polygon Relationships on Mars: Insights from the Antarctic Dry Valleys in the Roles of Permafrost, Microclimates, and Water Sources for Surface Flow. *Icarus*, Vol. 201: 113-126.

Mangold, N.; Mangeney, A.; Migeon, V.; Ansan, V.; Lucas, A.; Baratoux, D.; Bouchut, F.; (2010). Sinuous Gullies on Mars: Frequency, Distribution and Implications for Flow Properties. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, E11001: 1-18.

Marchant, D. R.; Head, J. W.; (2003). Tongue-Shaped Lobes on Mars: Morphology, Nomenclature, and Relation to Rock Glacier Deposits. Sixth international Conference on Mars, N° 3091: 1-4.

Mellon, M.T.; Arvidson, R.E.; Marlow, J.J.; Phillips, R.J.; Asphaug, E.; Searls, M.L.; Martínez-Alonso, S.E.; HiRISE Team.; (2008). Polygonal Patterned Ground and Sorted Rocks on Mars As Seen by HiRISE: the Phoenix Landing Site, Northern Plains, and Beyond. *Lunar and Planetary Science XXXIX*, Nº 1770: 1-2.

Milliken, R.E.; Grotzinger, J.P.; Thomson, B.J.; (2010). Paleoclimate of Mars as Captured by Stratigraphic Record in Gale Crater. *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, Nº L04201: 1-6.

Nagle, G.; (2008). Glacial and Fluvioglacial Deposition: a Case Study of Breidamerkurjökull and Fjallsjökull, Iceland. *Geofile*, Nº 573: 1-4.

Newsom, H.E.; Mangold, N.; Kah, L.C.; Williams, J.M.; Arvidson, R.E.; Stein, N.; Ollila, A.M.; Bridges, J.C.; Schwenzer, S.P.; King, P.L.; Grant, J.A.; Pinet, P.; Bridges, N.T.; Calef III, F.; Wiens, R.C.; Spay, J.G.; Vaniman, D.T.; Elston, W.E.; Berger, J.A.; Garvin, J.B.; Palucis, M.C.; MSL Science Team.; (2015). Gale Crater and Impact Processes – Curiosity’s First 364 Sols on Mars. *Icarus*, Vol. 249: 108-128.

Nick, F.M.; Van der Kwast, J.; Oerlemans, J.; (2007). Simulation of the Evolution of Breidamerkurjökull in the Late Holocene. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, B01103: 1-12.

Oehler, D. Z.; Allen, C. C.; (2008). Ancient Hydrothermal Springs in Arabia Terra, Mars. *Lunar and Planetary Science XXXIX*, Nº 1391: 1-2.

Oehler, D.Z.; (2013). A Periglacial Analog for Landforms in Gale Crater, Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*, Vol. 1322: 1-2.

Oehler, D.Z.; Mangold, N.; Hallet, B.; Fairén, A.G.; Le Deit, L.; Williams, A.J.; Sletten, R.S.; Martínez-Frías, J.; (2016). Origin and Significance of Decameter-Scale Polygons in the Lower Peace Vallis Fan of Gale Crater, Mars. *Icarus*, Vol. 277: 56-72.

Pain, C.F.; Clarke, J.D.A.; Thomas, M.; (2007). Inversion of Relief on Mars. *Icarus*, Vol. 190: 478-491.

Palucis, M.C.; Dietrich, W.E.; Hayes, A.; Williams, R.M.E.; Calef, F.; Summer, D.Y.; Gupta, S.; Hardgrove, C.; MSL Science Team.; (2013). Origin and Evolution of the Peace Vallis Fan System that Drains into the Curiosity Landing Area, Gale Crater. *Lunar and Planetary Science Conference*, Nº 1607: 1-2.

Reiss, D.; Erkeling, G.; Bauch, K.E.; Hiesinger, H.; (2010). Evidence for Present Day Gully activity on the Russell Crater Dune Field, Mars. *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, L06203: 1-8.

Schwenzer, S.P.; Abramov, O.; Allen, C.C.; Bridges, J.C.; Clifford, S.M.; Filiberto, J.; Kring, D.A.; Lasue, J.; McGovern, P.J.; Newsom, H.E.; Treiman, A.H.; Vaniman, D.T.; Wiens, R.C.; Wittmann, A.; (2012). Gale Crater: Formation and Post-Impact Hydrous Environments. *Planetary and Space Science*, Vol. 70: 84-95.

Thomson, B.J.; Bridges, N.T.; Milliken, R.; Baldridge, A.; Hook, S.J.; Crowley, J.K.; Marion, G.M.; de Souza Filho, C.R.; Brown, A.J.; Weitz, C.M.; (2011). Constraints on the Origin and Evolution of the Layered Mound in Gale Crater, Mars Using Mars Reconnaissance Orbiter Data. *Icarus*, Vol. 214: 413-432.

Treiman, A.H.; (2003). Geologic Settings of Martian Gullies: Implications for their Origins. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, Nº E4, 8031: 1-13.

Vasavada, A. R.; Grotzinger, J. P.; Gupta, S.; Haberle, R. M.; Mischna, M. A. ; Richardson, M. I. ; Wiens, R. C. ; (2015). What Can Curiosity's Study of Gale Crater Tell Us About Mars' Ancient Climate? Lunar and Planetary Science Conference, N° 2161: 1-2.

Whalley, W.B.; Azizi, F.; (2003). Rock Glaciers and Protalus Landforms: Analogous Forms and Ice Sources on Earth and Mars. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, N° E4: 131-1317.

Williams, R.; (2008). Terrestrial Inverted Channels in Utah: Analogs for Investigation of Martian Sinuous Ridges. *Planetary Science Institute*. Vol. 1700: 73-76.

Williams, R.; Irwin III, R.; Zimbelman, J.; (2009). Evaluation of Paleohydrologic Models for Terrestrial Inverted Channels: Implications for Application to Martian Sinuous Ridges. *Geomorphology*, Vol. 107: 300-315.

Williams, R.M.E.; Edget, K.S.; (2005). Valleys in the Martian Rock Record. *Lunar and Planetary Science XXXVI*, N° 1099: 1-2.

Williams, R.; Chidsey, Jr.; Eby, D.E.; (2007). Exhumed Paleochannels in Central Utah - Analogs for Raised Curvilinear Features on Mars. En Willis, G.C., Hylland, M.D., Clark, D.L., and Chidsey, T.C., Jr., editors, *Central Utah – Diverse Geology of a Dynamic Landscape: Utah Geological Association Publication 36*, Salt Lake City, Utah.

Wray, J.J.; (2013). Gale Crater: the Mars Science Laboratory/ Curiosity Rover Landing Site. *International Journal of Astrobiology*, Vol. 12: 25-38.

Zaki, A.S.; (2016). Inverted Channels on Earth Analogs for Inverted Topography on Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*, N° 2466: 1-2.