

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

USOS DEL SUELO EN LOS PARQUES NACIONALES ESPAÑOLES. EVOLUCIÓN Y MODELADO PARTICIPATIVO

FRANCISCO ESCOBAR¹, RICHARD HEWITT^{1,2}, Y VERÓNICA HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ²

RESUMEN

La creciente presión humana ejercida sobre la biosfera ha impulsado la actividad científica a través de múltiples disciplinas en las últimas tres décadas. Se han generado acciones de seguimiento, documentación e investigación sobre el entorno, enmarcadas bajo el concepto de *investigación del cambio global*, cuyo fin último es una planificación más enfocada al uso sostenible de los limitados recursos naturales de que disponemos. Los cambios en la cobertura de la superficie terrestre, entre otros aspectos, pueden afectar al control de factores como la erosión, el suministro de agua y el clima. Por tanto, el monitoreo y análisis de estos cambios en la ocupación del suelo son de crucial importancia de cara a comprender los procesos de cambio ocurridos en la superficie terrestre y sus ecosistemas.

Sin embargo, para poder vislumbrar y analizar posibles futuras configuraciones en la ocupación del suelo, se necesita ir más allá del seguimiento o análisis geográfico estático. Ese fue el objetivo del trabajo que aquí presentamos. Para alcanzarlo, se aplicaron técnicas de tabulación cruzada para la detección de cambios por medio de Sistemas de Información Geográfica en el conjunto de la red de parques nacionales y de modelización dinámica basada en autómatas celulares (AC) en el caso del Espacio Natural de Doñana.

Se profundizó en la integración de la modelización cuantitativa con procesos participativos que introdujeron una perspectiva cualitativa, con el fin de mejorar el modelo, su aplicabilidad al estudio de caso y la divulgación de sus resultados. Los modelos basados en AC son muy efectivos para la generación de patrones de cambio realistas de los usos del suelo, algo que ha sido facilitado en gran medida por el proceso participativo que, a su vez, ha incrementado la difusión de los resultados.

En el modelo presentado, los agentes se involucraron en el trabajo de modelización desde el principio; con ellos se definió la zona de estudio, se decidió la base de datos y las categorías de usos del suelo a emplear en el modelo, y se reclasificaron las categorías de usos del suelo con el fin de determinar las dinámicas de cambio más importantes para la modelización del entorno. Además, los agentes aportaron sus opiniones y conocimiento sobre el efecto de los distintos factores biofísicos en cada categoría de usos del suelo, al igual que trasladaron al investigador las críticas respecto al funcionamiento del modelo. El proceso concluyó con la realización de actividades de valoración del propio proceso de modelización participativa.

Las aportaciones principales se orientan en torno a dos ejes distintos. Por una parte se ha propuesto un proceso de modelización integrado para generar un modelo más cercano a la realidad con capacidad de responder a las preocupaciones reales de la sociedad sobre el espacio investigado. Por otra parte, se

¹ Dpto. de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá. Calle Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, Fax +34 918854439, Email de contacto: francisco.escobar@uah.es.

² Observatorio para una Cultura del Territorio (OCT). Calle Duque Fernán Núñez, 2-1. 28012. Madrid, Emails: richardjhewitt@hushmail.com y vero.hj@observatorioculturayterritorio.org.

ha convertido a los agentes en usuarios verdaderos de dicho modelo, plenamente involucrados y capaces de criticar y opinar sobre el tema representado.

La investigación dio lugar al desarrollo de metodologías novedosas para la integración de información discursiva en modelos cuantitativos, todas ellas divulgadas y acompañadas por una gran cantidad de datos descargables a través del sitio web del proyecto www.geogra.uah.es/duspanac. Se generó asimismo una geodatabase disponible a través del mencionado sitio web. La intención ha sido la de dotar al modelo y los datos generados de la máxima utilidad, visibilidad y accesibilidad posibles.

Palabras clave: Autómatas Celulares, Modelado participativo, Parques Nacionales, Usos del suelo.

SUMMARY

Increasing human pressure exercised on the biosphere has driven scientific activity in a variety of disciplines during the last three decades. A great number of activities relating to monitoring, documentation and research have emerged under the banner of *global change* research aimed at a more sustainable use of the limited natural resources we have. Changes in earth surface cover, among other aspects, may affect the control of factors such as erosion, water supply and climate. For this reason, the monitoring and analysis of land use and land cover changes are of crucial importance in understanding the processes of change to the earth's surface and its ecosystems.

However, the analysis and visualization of plausible future configurations of land cover need to go beyond of a mere static geographic analysis and constitutes the central goal of the work presented here. To achieve this, cross tabulation techniques in Geographic Information Systems were applied to the whole network of national parks, while cellular automata (CA)-based dynamic modelling was applied in the Doñana natural area.

Detailed attention was given to the integration of quantitative modelling with participatory processes that introduced a qualitative perspective. By doing so, the aim was to improve the model, its applicability to the case study and the dissemination of the results. CA models are very effective for generating realistic land use growth patterns, something that has been greatly facilitated in this research thanks to the participatory process that led, at the same time, to increased dissemination of the results.

In the model presented here, stakeholders were involved in model development from the beginning; they helped to define the study area, the data base and land use categories to employ in the model, and they carried out reclassification of the land use data set to determine the most important land use dynamics for modelling their region. Stakeholders also gave their opinions and knowledge about the effect of the different biophysical factors on each land use category and contributed criticism of the way the model worked. The process was concluded with participatory activities dedicated to evaluating the participatory modelling process itself.

The main contributions of this work are orientated around two distinct axes. On the one hand, an integrated modelling procedure has been proposed, in order to generate a model that is closer to reality and with the capability to respond to the real concerns of society about the territory under study. On the other hand, the stakeholders have been converted into the model's true users, fully involved and able to criticise and give their views about the themes represented within it.

The research carried out gave rise to the development of a series of innovative methodologies for the integration of discursive information into quantitative models, all of which have been disseminated and accompanied by a large quantity of data which can be downloaded from the project website www.geogra.uah.es/duspanac. The geographic analysis also generated a geodatabase, likewise available at the same website. The intention has been to provide the model and the data generated the maximum utility, visibility and accessibility possible.

Key words: Cellular Automata, Participatory Modelling, National Parks, Land Use.

INTRODUCCIÓN

El ser humano, como el resto de las especies, ha evolucionado adaptándose a un medio cambiante. A su vez, está reconocido como el ser vivo con mayor capacidad de transformación del entorno. Desde su aparición hasta el momento actual, su impronta ha quedado marcada en la práctica totalidad de la superficie terrestre. Sin embargo, el ritmo con que ha ido modificando y adaptando la configuración del paisaje a sus intereses no ha sido constante.

Un punto de inflexión lo marca la aparición de las sociedades sedentarias asociadas a la agricultura y la ganadería. Es quizá a partir de este momento cuando podemos hablar de “uso del suelo” como la «colonización del ecosistema terrestre», es decir, como un conjunto interrelacionado de intervenciones socio-económicas destinadas a introducir cambios en el ecosistema de forma que este sea más útil para la sociedad (FISCHER-KOWALSKI y WEISZ, 1999).

La transición de una sociedad agrícola de subsistencia a una economía industrializada se caracteriza, entre otros aspectos, por cambios fundamentales e interrelacionados en los usos del suelo y en lo que se ha llamado el metabolismo socio-económico (KRAUSMANN *et al.* 2003), es decir, el análisis de los flujos de recursos y energía asociados con las actividades humanas. El enfoque basado en el metabolismo socio-económico conceptualiza la relación de las sociedades con su entorno como un proceso de entradas y salidas: los recursos y la energía son extraídos del medio ambiente, procesados por la sociedad, parcialmente acumulados como stocks socio-económicos (edi-

ficios, infraestructuras, bienes de consumo, etc.) y finalmente devueltos al medio ambiente, bien como residuos y emisiones o, deliberadamente distribuidos en el entorno, como fertilizantes o pesticidas (FISCHER-KOWALSKI, 1997). En la sociedad postindustrial, en la que el desarrollo de sistemas de transporte ha propiciado la disociación productor-consumidor, estos procesos se han visto acelerados, impulsando la velocidad con que los cambios se producen, su frecuencia y su magnitud, registrando valores sin precedentes en la segunda mitad del siglo XX (ANTROP, 2000). La aparición del ferrocarril, permitiendo el transporte masivo de pasajeros, en un primer momento, y del automóvil tras la 2ª Guerra Mundial, supusieron el comienzo de una nueva era en lo que a movilidad y transformación del paisaje se refiere. Con la implantación de los sistemas de transporte, la accesibilidad pasó a convertirse en el factor más importante en la evolución del paisaje (ANTROP, 2004).

En la actualidad, la globalización de las actividades productivas y de los procesos de toma de decisiones está causando nuevos y más drásticos cambios en la configuración de los usos del suelo y del paisaje. Las relaciones entre los ámbitos natural, rural y urbano se vuelven extremadamente complejas como consecuencia de nuevos modelos de crecimiento urbano ligados a la aparición de infraestructuras de transporte (SPESP, 2000). La transición típica entre centro o aglomeración urbana y el mundo rural se vuelve difusa y pobremente definida (ANTROP, 2004).

Como se reconocía en las conclusiones de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (2011), en los últimos 50 años, los seres humanos

ESCOBAR, F. Y COLS.

han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro periodo de tiempo comparable en la historia de la humanidad.

Muchos de los nuevos elementos y estructuras que aparecen en los paisajes recientes se superponen a los paisajes tradicionales, fragmentándolos y poniendo en riesgo su identidad. Los nuevos paisajes se caracterizan por su homogeneidad funcional (ANTROP, 2004) lo que unido a la velocidad de su expansión, supone nuevos retos para planificadores y conservacionistas.

En este contexto, la expansión de las actividades humanas, y en consecuencia, de sus centros de acción, las ciudades, abandona el modelo compacto de la ciudad tradicional europea para adoptar una forma difusa, creciendo en paralelo a las nuevas infraestructuras de transporte, y surgiendo así el fenómeno conocido como expansión urbana difusa - *urban sprawl*. Estos procesos urbanizadores dejan de estar restringidos a los bordes de las ciudades para, progresivamente, afectar al conjunto del territorio; el medio rural se urbaniza, tanto en su morfología como en su funcionalidad, los espacios agrarios se intensifican y los espacios naturales se fragmentan, pierden biodiversidad, disminuye su capacidad como proveedor de servicios de ecosistemas y se ven seriamente amenazados. Dado su impacto, no solo sobre el propio medio urbano, sino sobre todo el territorio, la mayor parte de los trabajos dedicados al estudio de los cambios en los usos del suelo ha centrado su atención en los procesos urbanizadores (KASANKO *et al.*, 2006).

Los usos del suelo actuales son por tanto consecuencia de la actividad humana y esta a su vez ha estado condicionada por el grado de desarrollo tecnológico de que se ha gozado en los diferentes periodos históricos. Pero de igual forma, estos mismos usos del suelo constituyen un factor determinante en la promoción o limitación de esta actividad (KRAUSMANN *et al.*, 2003; SCHIRMER *et al.*, 2008). En las tres últimas décadas, los cambios ocurridos en los usos del suelo han sido más rápidos y drásticos, han afectado a más áreas, de mayor tamaño, y en más lugares del planeta simultáneamente que nunca. Se en-

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

centran entre las más importantes fuerzas motoras socio-económicas del cambio global y local (TURNER *et al.*, 1990) y han pasado, por ello, a constituirse en un problema que ha atraído la atención de científicos, gestores, conservacionistas y otros actores del territorio.

Algunos de los problemas relacionados con los cambios en los usos del suelo son la pérdida de biodiversidad, la contaminación del aire y del agua o la degradación del edafosistema (VALERA *et al.*, 2011). En el ámbito mediterráneo, la rapidez con la que se están produciendo, especialmente en las zonas litorales, resulta alarmante. En el territorio español, los usos agrícolas y forestales tradicionales, y los naturales, retroceden ante la expansión de las superficies artificiales (OJEDA y VILLAR, 2006; HEWITT y ESCOBAR, 2011).

Como recogemos más adelante, las zonas naturales protegidas, y sus áreas de influencia, no son ajenas a estos cambios. Frente a la profusión de literatura científica consagrada al estudio de los cambios de usos del suelo ligados directamente a la expansión urbana, el objeto de nuestro estudio es, al contrario, los cambios producidos en estas zonas protegidas, en concreto en los parques nacionales españoles.

Pero antes de adentrarnos en la forma y magnitud que estos cambios han supuesto en los parques nacionales, conviene precisar qué entendemos por «usos del suelo». Según ELLIS (2010) en su artículo de *The Encyclopedia on Earth*, los usos del suelo denotan cómo los humanos usan las propiedades biofísicas o ecológicas de la tierra. Incluyen la modificación y/o la gestión del espacio para la agricultura, los asentamientos, la silvicultura, y otros usos, incluso aquellos que excluyen a los seres humanos, como es el caso en la designación de las reservas naturales para la conservación.

Comúnmente entendemos que el uso del suelo es el que los seres humanos hacen de la tierra, incluyendo la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un entorno de utilidad para los seres humanos.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

Naciones Unidas define los usos del suelo como el conjunto de disposiciones, actividades e *inputs* que las personas llevan a cabo sobre un tipo de cobertura terrestre (FAO, 1997).

Muy a menudo, el término uso del suelo se encuentra vinculado a normativas legales que regulan los distintos usos de la tierra en diferentes zonas.

Estrechamente ligado al concepto de uso del suelo se encuentra el de ocupación del suelo, llegando en numerosas ocasiones, incluso en las leyendas de mapas sobre el tema, a utilizarse indistintamente (VELDKAMP y VERBURG, 2004). Sin embargo, son dos conceptos distintos que requieren análisis diferentes. Una interesante y clarificadora discusión sobre el tema ha sido presentada por COMBER (2008).

En el caso español, tanto los usos como la ocupación del suelo han experimentado unos cambios espectaculares desde 1990 (HEWITT y ESCOBAR, 2011). Ante su preocupante evolución, en donde el ritmo de cambio ha sido aún mayor que en el resto de Europa (ANTROP, 2004), los espacios naturales protegidos, formando parte de la configuración global, se ven potencialmente amenazados ante cambios incompatibles con los principios de conservación y gestión del medio natural. Y lo que es más preocupante, la atracción que ejercen estos espacios sobre actividades relacionadas con el turismo y el ocio, conlleva a la paradójica situación de amenazar, en mayor medida que la media del territorio, los espacios circundantes a los parques nacionales pero carentes de protección.

Por ello, en el estudio que aquí presentamos, se persiguió un doble objetivo; por un lado estudiar la evolución de estos cambios en toda la red de parques nacionales y sus inmediaciones, y por otro modelar a futuro, según diferentes escenarios, la configuración de estos usos a 35 años vista.

Durante las últimas décadas, al igual que asistimos a los cambios señalados, la madurez alcanzada por tecnologías específicas para la gestión medioambiental como los sistemas de informa-

ción geográfica (SIG), los satélites de observación de la cobertura terrestre y las técnicas de geo-posicionamiento, han hecho posible abordar este estudio con herramientas robustas de análisis y modelado.

El conjunto de útiles metodológicos con que se han alcanzado estos objetivos responde a los desarrollos más recientes en tres áreas fundamentales para esta investigación: análisis SIG, modelado espacial y procesos participativos.

El estudio de la evolución de los usos del suelo se acometió, en un entorno SIG, por medio de tabulaciones cruzadas entre capas de información de usos del suelo de diferentes periodos. La tabulación cruzada constituye un medio fundamental para aproximarse al estudio de los cambios en los usos del suelo (PONTIUS *et al.*, 2004) y se define genéricamente como el «proceso de creación de una tabla de contingencia desde la distribución de frecuencias multivariada de las variables estadísticas». Frente a técnicas como el análisis cuantitativo de la superficie ocupada por cada una de las categorías que conforman los usos del suelo (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, 2011), la tabulación cruzada aporta, además de las cantidades de suelo «cedidas» o «ganadas» por las diferentes categorías, la cartografía que recoge la distribución y localización de estas categorías.

Desde mediados de los años 90, el desarrollo de modelos dinámicos ha llevado a los SIG a una nueva generación (PAEGELOW Y CAMACHO, 2008). Estos modelos se basan, bien en la implementación de los llamados modelos basados en agentes o bien en la de los modelos basados en autómatas celulares (AC). Como se expone más adelante, los modelos basados en AC se adaptan bien al fenómeno de los cambios en los usos del suelo por lo que ha sido el método retenido en este estudio.

También desde los años 90 asistimos al reconocimiento de los procesos participativos como parte integrante del desarrollo local sostenible. Los procesos participativos promueven la implicación de los diversos agentes sobre decisiones que afectan a su entorno y su vida cotidiana.

ESCOBAR, F. Y COLS.

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

El Informe Brundtland (1987) y la Cumbre Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (conocida como La Cumbre de Río, 1992) marcaron dos hitos en los vínculos entre sociedad y medio ambiente. Desde entonces, el concepto de la participación y la puesta en marcha de los procesos ha evolucionado tanto en su utilización, como en las herramientas para su implementación (desde las primeras Agendas 21 hasta las entidades de custodia del territorio y el SIG participativo ampliamente utilizado en la actualidad), como en la legislación que la regula y ha situado la participación en todas las agendas políticas e institucionales tanto a nivel global como local (con el Convenio de Aarhus firmado por la Comisión Europea en 1998 como punto de inflexión sobre el acceso y la disponibilidad de información pública ambiental). Estos procesos, con un enfoque integral y multidisciplinar, han demostrado su validez y aplicabilidad a lo largo de su trayectoria iniciada en los años 60.

La aplicación de estas herramientas metodológicas a los objetivos planteados tiene como finalidad el desarrollo de un marco de reflexión sobre el futuro de nuestros espacios naturales protegidos, la creación de un espacio de mutuo aprendizaje entre agentes del territorio y, desde un punto de vista más directamente aplicado, la creación de una plataforma informática que, recogiendo toda la información recabada y producida en el marco de esta investigación, constituya un apoyo a los procesos de toma de decisiones.

MATERIAL Y MÉTODOS

Como se ha mencionado en la introducción, los SIG, el modelado espacial y los procesos participativos constituyen los tres pilares sobre los que se apoya la metodología adoptada en este proyecto.

Zona de estudio

La zona de estudio considerada varía en función del objetivo perseguido. En el caso de la búsqueda de los cambios acaecidos (1990-2006) en el conjunto de la red de parques nacionales y su entorno, la tabulación cruzada fue aplicada a la totalidad de los parques³, considerando en cada uno de ellos tres zonas diferentes: la incluida en los límites del parque, una aureola de 800 metros de ancho alrededor de cada parque y el conjunto de estas dos zonas (figura 1).

En el caso del modelado basado en AC, este puede ser únicamente aplicado en aquellos parques que presentan un dinamismo significativo en la configuración de sus usos del suelo en el periodo retenido (1990-2006) y que cuentan con un número significativo de categorías diferentes de usos del suelo. De entre los 14 parques analizados, únicamente Doñana cumplía ambas condiciones.

El primer taller celebrado en el marco del proyecto DUSPANAC (Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ref 118/2010), los agentes coincidieron en que el área definida por los límites del parque nacional no era suficiente para captar las dinámicas que afectan al propio parque y concluyeron, como decisión conjunta, con que la totalidad de la cuenca del río Guadamar resultaba más adecuada. Quedó de esta forma establecida la zona de estudio sobre la que aplicar el modelado basado en AC (figura 2).

El estudio del conjunto de la cuenca del río Guadamar es crucial para entender el ecosistema de dunas y marismas que caracteriza a Doñana y que le confiere su relevancia internacional por su biodiversidad e importancia para las aves. Doñana se extiende en torno a la desembocadura del río Guadalquivir, cerca del lugar donde el Guadamar, principal contribuyente de las ma-

³ En el momento en que el estudio fue acometido, el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama no había sido aún declarado como tal por lo que no fue incluido en el análisis.



Figura 1. Localización y forma de los parques integrantes de la Red de Parques Nacionales en España. Elaboración propia. Datos del Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

Figure 1. Location and shape of the national parks conforming the National Network of Spanish National Parks. Own work after data from the Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

rismas de Doñana, vierte sus aguas en él. El desarrollo socio-económico de la zona ha estado basado fundamentalmente en agricultura intensiva y en turismo y es el responsable de la transformación de este espacio en los últimos 60 años, que ha pasado de ser uno de los más deprimidos económicamente de España, a superar la renta per cápita media nacional (MONTES, 2007). Al mismo tiempo, el reconocimiento de la importancia de Doñana como área natural provisor de importantes y numerosos servicios de ecosistemas ha incrementado hasta el punto de hacerla merecedora de su inclusión en el listado de lugares patrimonio de la humanidad por UNESCO.

Desgraciadamente, durante este mismo periodo, las zonas que bordean al parque nacional han experimentado un importante proceso de degradación, hasta el punto de que los impactos ambientales se dejan sentir dentro del propio parque (MUÑOZ-REINOSO, 2001).

Datos

A lo largo de la vida del proyecto se han recogido y producido datos de diversa índole, desde información geo-referenciada disponible en servidores o repositorios de mapas oficiales (IDEE, OAPN, Junta de Andalucía, Agencia Europea del Medio Ambiente) hasta mapas e información elaborada por los participantes en los talleres celebrados, sin olvidar los mapas generados como resultado de la modelización. A ello hay que añadir la información estadística que ha permitido estimar las demandas futuras, según los diversos escenarios, de superficie de tierra ocupada por cada una de las categorías de usos de suelo.

En este apartado presentamos únicamente aquellos datos de partida que han jugado un papel relevante en el análisis de cambios y en la modelización de los mismos.

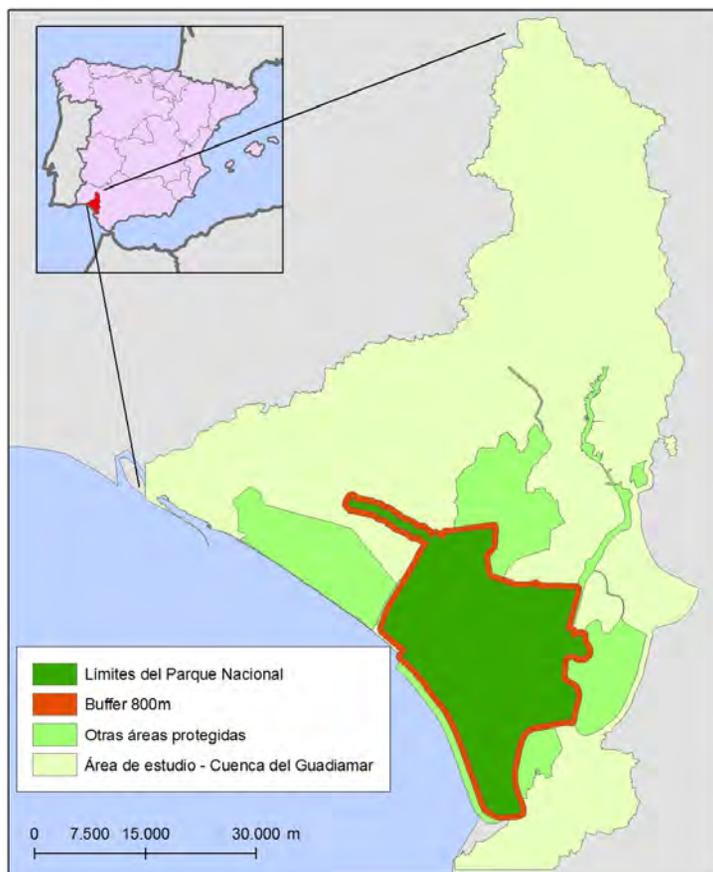


Figura 2. Cuenca del río Guadiamar, área de estudio para el modelado de los usos del suelo basado en autómatas celulares.

Figure 2. Guadiamar river basin, study area for the cellular automata-based land use modelling.

Corine Land Cover 1990, 2000 y 2006

Los datos empleados para el análisis debían permitir contar con información sobre la ocupación del suelo en, al menos, dos fechas suficientemente separadas en el tiempo. Además, con el fin de poder comparar los parques entre sí, debía contarse con los mismos datos para todos ellos. Estos dos condicionantes no dejan otra alternativa que la elección de la base de datos Corine Land Cover (CLC). CLC presenta la ventaja de haber sido ampliamente estudiada, y por tanto sus limitaciones son bien conocidas (GALLEGO

2000, FELICÍSIMO y SÁNCHEZ GAGO, 2002, MAUCHA y BÜTTNER, 2005) y haber sido adoptada en numerosos estudios de distinta índole (PETRISOR *et al.*, 2010, FERANEC *et al.*, 2010, HEWITT y ESCOBAR, 2010, DÍAZ y GUTIÉRREZ, 2013). Otras ventajas no desdeñables, sobre todo de cara a futuros estudios que trasciendan nuestras fronteras, reside en el hecho de que CLC presenta una cobertura europea (EEA, 2007) y es de distribución gratuita, bien desde la propia Agencia Europea del Medio Ambiente (www.eea.europa.eu), o desde los institutos y agencias nacionales de cartografía.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

La actual disponibilidad de CLC para tres fechas (1990, 2000 y 2006) permitió analizar diferentes ritmos de evolución de la configuración de los usos del suelo aplicando el análisis a dos periodos distintos; 1990-2000 (en adelante periodo 1) y 2000-2006 (en adelante periodo 2). Considerando los 14 parques y las 3 zonas estudiadas para cada uno de ellos así como los dos periodos mencionados, se llevaron a cabo 84 tabulaciones cruzadas.

CLC presenta cinco grandes secciones en lo que se denomina su nivel 1 (zonas artificiales, áreas agrícolas, bosques y áreas semi-naturales, zonas húmedas y agua) que a su vez se subdividen llegando a formar un total de 44 categorías diferentes en su nivel 3. En la tabla 1, se presentan las 44 categorías distintas de CLC nivel 3, con los parques nacionales y su zona colindante en los que se observan estas categorías. Por evidentes moti-

Código	Descripción	corto	AIG	CBN	CBR	CLT	DON	GAR	ISA	MON	OMP	PIC	SNV	TDA	TEI	TIM
1	Tejido urbano continuo	TUC														
2	Tejido urbano discontinuo	TUD														
3	Zonas industriales o comerciales	ZIC														
4	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	RVFTA														
5	Zonas portuarias	ZP														
6	Aeropuertos	A														
7	Zonas de extracción minera	ZEM														
8	Escombreras y vertederos	EV														
9	Zonas en construcción	ZC														
10	Zonas verdes urbanas	ZVU														
11	Instalaciones deportivas y recreativas	IDR														
12	Tierras de labor en secano	TLS														
13	Terrenos regados permanentemente	TRP														
14	Arrozales	A														
15	Viñedos	V														
16	Frutales	F														
17	Olivos	O														
18	Praderas	P														
19	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	CAACP														
20	Mosaico de Cultivos	MC														
21	Terrenos principalmente agrícolas etc:	TPA														
22	Sistemas agroforestales	SA														
23	Bosques de frondosas	BF														
24	Bosques coníferas	BC														
25	Bosques mixtos	BM														
26	Pastizales naturales	PN														
27	Landas y matorrales	LM														
28	Vegetación esclerófila	VE														
29	Malorral boscoso de transición	MBT														
30	Playas, dunas y arenales	PDA														
31	Roquedo	R														
32	Espacios con vegetación escasa	EVE														
33	Zonas quemadas	ZQ														
34	Glaciares y nieves permanentes	GNP														
35	Humedales y zonas pantanosas	HZP														
36	Turberas	T														
37	Marismas	M														
38	Salinas	S														
39	Zonas llanas intermareales	ZLJ														
40	Cursos de agua	CA														
41	Láminas de agua	LA														
42	Lagunas costeras	LC														
43	Estuarios	E														
44	Mares y océanos	MO														

Tabla 1. Categorías de usos del suelo de CLC 1990-2006 presentes en los 14 parques nacionales españoles.

Table 1. CLC 1990-2006 land use categories present in the 14 Spanish national parks.

ESCOBAR, F. Y COLS.

vos geográficos, no todas las categorías de CLC están representadas en todos los parques; por ejemplo, humedales y zonas pantanosas se encuentran en los parques de Doñana y las Tablas de Daimiel, pero no en Ordesa y Monte Perdido, que por su parte cuenta con 128 ha de glaciares y nieves permanentes.

Cartografía de la Junta de Andalucía

Una vez que el análisis de cambios en el conjunto de la red de parques nacionales señaló a Doñana como el parque que más cambios y más extensos había experimentado tanto en el periodo 1990-2000 como 2000-2006, se seleccionó este parque para la fase de modelado. Tratándose de solamente un parque, las ventajas de CLC en cuanto a su capacidad comparativa dentro del territorio nacional pierde interés y se busca en el ámbito regional una base de datos análoga, a ser posible mejor adaptada a las condiciones concretas de Andalucía que CLC.

Desde 1987, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía realiza el seguimiento cartográfico y estadístico de la ocupación del suelo en toda la región andaluza. Cuenta actualmente con 7 versiones correspondientes a los años 1956, 1991 1995, 1999 (1:25,000 y 1:50,000), 2003 y 2007 (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, 2011).

Las capas de información relativas a esta base de datos se encuentran disponibles en la Red de Información Ambiental de Andalucía (Rediam), <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.

Se adoptó esta base de datos en el modelado y no CLC ya que, por un lado, la BD de la Junta de Andalucía está adaptada específicamente a las condiciones andaluzas y por tanto refleja mejor su configuración de usos del suelo. Y por otro, la BD de Andalucía ofrece un periodo de información más amplio, de 1956 a 2007 frente a CLC de 1990 a 2006, lo que permite adoptar periodos más largos en la fase de calibración del modelo. Teniendo en cuenta que lo que se persigue en este caso con la modelización es indagar acerca de los cambios que eventualmente puedan producirse

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

en las categorías de usos de suelo natural, un periodo de calibración superior al típico de 10 años, empleado en los modelos de simulación de crecimiento urbano, resulta más apropiado.

Información auxiliar. Capas vectoriales y MDT

Además de las mencionadas CLC para la fase de identificación de cambios en el conjunto de la red y la BD de usos del suelo de Andalucía para el modelado de Doñana, en el modelo se introdujeron otras capas de información como son: la red de carreteras y otras vías de comunicación, modelo digital del terreno, límites administrativos, hidrografía, geología y límites del Plan Rector de Gestión y Uso (PRUG), que fueron obtenidas desde la Infraestructura de Datos Espaciales Española (IDEE) a través de la sede electrónica del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y desde el Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

La tabulación cruzada

Como señalábamos más arriba, la tabulación cruzada constituye un medio fundamental para aproximarse al estudio de los cambios en los usos del suelo (PONTIUS *et al.*, 2004) y proporciona, además de información acerca de la cantidad de suelo que pierde o gana cada categoría de uso del suelo, la distribución y localización de estas categorías.

Los resultados que arroja esta técnica están constituidos, por un lado, por la matriz de contingencia, o matriz de transiciones en este caso (CATALÁ *et al.*, 2008), y por otro por una serie de productos cartográficos que informan acerca de las diferentes transiciones producidas en el periodo considerado entre las distintas categorías de usos del suelo que conforman la información de partida.

A través de la tabulación cruzada puede conocerse, por ejemplo, el número de hectáreas que han pasado de estar ocupadas por vegetación natural a estarlo por suelo agrario y los lugares en donde se ha producido esta transformación.

Modelado participativo

El modelado participativo de la zona elegida, Doñana, requería de la integración de dos herramientas metodológicas ya mencionadas; el modelado basado en Autómatas Celulares (AC) y un proceso participativo para, en principio, la parametrización consensuada del modelo.

AC para el modelado de cambios de usos del suelo

Los modelos de cambios de usos del suelo basados en autómatas celulares tienen su origen en los trabajos de Ulman y von Neumann sobre la formación de cristales el primero y sobre sistemas auto-replicables el segundo (PICKOVER, 2009). Pero fue Waldo Tobler quien primero aplicó estos modelos al análisis de los cambios en los usos del suelo, realizando simulaciones sencillas de crecimiento urbano y cambios de usos del suelo, dando además los primeros pasos para su computerización (TOBLER, 1970). Posteriormente, los trabajos de White (1974, 1977, 1978) sobre la teoría del lugar central y los consecuentes desarrollos de investigadores de la Universidad Libre de Bruselas (ALLEN y SANGLIER 1978, 1979) culminaron en el desarrollo de un modelo geográfico dinámico que, por primera vez, utilizando datos espaciales reales, permitía la simulación de cambios y de crecimiento urbano (WHITE y ENGELEN, 1993).

Este modelo, en el que los cambios son simulados de forma dinámica en una malla regular y en el que las transiciones de una categoría a otra vienen determinadas, en cada lapso de tiempo, como respuesta a los valores existentes en las celdillas circundantes (categoría de uso del suelo, disponibilidad de transporte, capacidad del terreno para acoger una u otra categoría y zonificación según planes de ordenamiento territorial) es el modelo adoptado en el presente estudio.

La versión comercial de este modelo es conocida como Metronamica (RIKS, 2011) aunque existen variaciones de la misma en programas de (restringido) uso público como es el caso de MO-LAND (BARREDO *et al.*, 2003, 2004).

La figura 3 resume gráficamente el funcionamiento del modelo. Siendo el objetivo la obtención de un mapa de ocupación del suelo en una fecha futura, se precisa de, al menos, dos mapas homólogos (misma zona, proyección, número y descripción de categorías) de ocupación del suelo de dos fechas anteriores diferentes. Además, si el modelo aspira a ofrecer resultados realistas, la potencialidad de transición de cada celda del mapa debe incorporar, junto a la imprescindible relación de vecindad, información sobre la accesibilidad a la red de transporte, la idoneidad del terreno para albergar distintos tipos de ocupación y los planes de ordenamiento territorial, si existen, previstos para el periodo de la simulación.

A través del proceso de calibración, se trata de recrear el mapa de la fecha más reciente para poder ser cotejado con el mapa real de la misma fecha. A través de un proceso iterativo, el modelo se considerará calibrado una vez la comparación entre estos dos mapas supere los umbrales de similitud mínimos fijados previamente. Sobre la calibración y los métodos más adecuados para llevarla a cabo existen interesantes trabajos que detallan ventajas y desventajas de los diferentes métodos disponibles (van VLIET *et al.*, 2011, PONTIUS y MALANSON 2005, PONTIUS y MILLONES, 2011).

En Metronamica, a partir de un mapa inicial de formato raster en que cada célula está asignada a un uso del suelo, la configuración futura de los usos del suelo será determinada por la susceptibilidad de cada célula para tomar otro valor, es decir, de transformarse en otro uso del suelo. Para cada paso del modelo, por lo tanto, es preciso calcular la potencialidad de transición (PT) – el potencial para cada célula de cambiar de una categoría a otra. Cuatro variables determinan si una célula es susceptible de cambiar de categoría. Estas variables son: aptitud – las condiciones físicas de cada célula para ser ocupadas por una determinada categoría (en Metronamica se consideran típicamente atributos o características físicas, ecológicas y medio-ambientales); zonificación (o aptitud institucional) tales como el nivel de protección para ciertas áreas de valor natural, accesibilidad, tales como

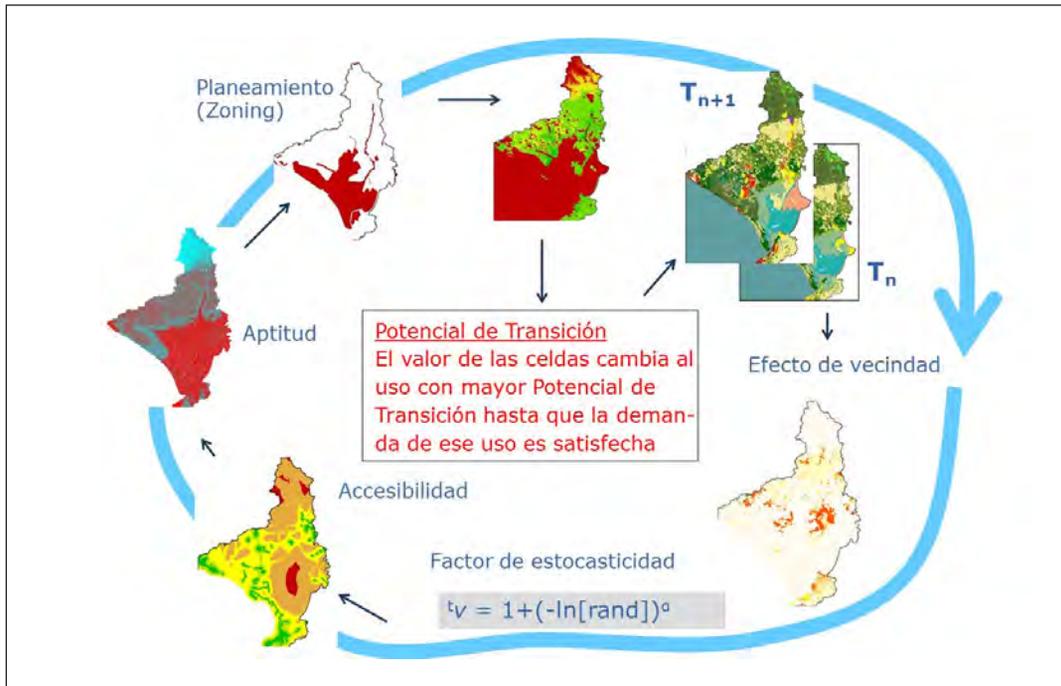


Figura 3. Descripción gráfica del carácter iterativo del modelo Metronamica.

Figure 3. Graphic description of iterations in the Metronamica model.

la proximidad a las principales vías de comunicación y su cualidad para cumplir los requerimientos de movilidad de las actividades asociadas a las diferentes categorías de ocupación y dinámicas de vecindad - el comportamiento de las células que rodean a una célula específica; provocando el que una célula particular con un uso del suelo afecte a la viabilidad de las células vecinas existentes (RIKS, 2011). La potencialidad total de transición se calcula a partir del producto de aptitud, zonificación, accesibilidad y dinámicas de vecindad, y para evitar sobredeterminismo se aplica también un parámetro estocástico. Así, donde tRf,c es dinámicas de vecindad, tAf,c es accesibilidad, tZf,c es zonificación, Sf,c es aptitud y α es el factor estocástico escogido de la distribución Weibull, el producto de las variables, $PT(tPf,c)$ se obtiene a partir de la siguiente fórmula;

$$tPf,c = tRf,c * tAf,c * tZf,c * Sf,c * \alpha \quad (1)$$

La cantidad total de cambio para cada uso del suelo está controlada por la demanda, que se determina a partir de factores exógenos al modelo. Estimar esta demanda para la fecha objetivo del modelo (en nuestro caso el año 2035), implica el desarrollo o la adopción de escenarios que contengan diversas posibilidades de futuro. En el caso de un modelo urbano, la demanda podría determinarse (por ejemplo) a partir de la relación entre la población estimada para el final del periodo de simulación y la necesaria expansión urbanística, observada según información del pasado. En el caso de contar con un área no-urbana, como es la zona de estudio del proyecto DUSPANAC, otros factores, como el cambio climático (altas temperaturas y escasez de agua) o el aumento de rentabilidad de ciertos cultivos, por ejemplo, cultivos intensivos en regadío, podrían afectar la demanda, y como consecuencia, la configuración final del mapa simulado (HEWITT *et al.*, 2012).

Escenarios de futuro

Una vez comenzado el proceso de modelización participativa se aplicó el modelo AC a cuatro escenarios de futuro (PALOMO et al 2012). Dichos escenarios, denominados como los escenarios de eco-futuro (1. Doñana conocimiento globalizado; 2. Doñana marca registrada; 3. Doñana árida; 4. Doñana adaptativa: húmeda y creativa) proceden de trabajos previos realizados en Doñana por el equipo del Laboratorio de Socio-Ecosistemas (Universidad Autónoma de Madrid) bajo el enfoque de la aplicación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EME, 2011; MONTES y SALA, 2007). Se muestran cuatro escenarios de futuro para el emblemático espacio protegido y una hoja de ruta para alcanzar un futuro sostenible promoviendo la gestión de los servicios de los ecosistemas para el bienestar humano. La publicación está destinada a gestores de los espacios naturales protegidos y otras personas vinculadas con los mismos, tanto investigadores como visitantes o población local.

Participación

La modelización participativa se ha aplicado con un enfoque integral y multidisciplinar demostrando su validez a lo largo de una trayectoria que se inició en los años sesenta. Por esto, desde el proyecto DUSPANAC se ha hecho un esfuerzo en aplicar el proceso participativo de la manera más amplia posible, involucrando a los agentes, no solamente como sujetos pasivos en las etapas finales del proceso, sino desde las fases iniciales del proyecto, bajo una estrategia metodológica de integrar la investigación cualitativa y discursiva con las herramientas de análisis cuantitativas. Los beneficios de este método van más allá de una evaluación del trabajo de modelización, o incluso de una mayor y mejor divulgación de los objetivos del proyecto. Sin duda, más importante aún es que esta metodología permite al equipo de investigación y a los agentes locales acercarse unos a otros, iniciando así un proceso de aprendizaje compartido - *shared learning*, con una mayor posibilidad de llegar al objetivo común de un espacio protegido sostenible.

A continuación se muestra el esquema del proceso de modelización participativo llevado a cabo. Paralelamente a la construcción del modelo piloto se procedió a la elaboración de los futuros escenarios de cambios que se desarrollaron a través de la calibración y experimentación participativa con el modelo. Se elaboraron escenarios experimentales en los que se representaron las dinámicas observadas en los análisis previos de cambios de usos de suelo, los cuáles fueron mejorados a través de parámetros más adecuados según la información resultante de los talleres (figura 4).

La metodología participativa se ha fundamentado en la aplicación de la Investigación Acción Participativa (IAP) de la gestión de los recursos naturales, un enfoque de reconocida aplicabilidad en el desarrollo rural (CHAMBERS 1992, VILLASANTE *et al.*, 2000). Dicho enfoque pretende superar la barrera entre el equipo de investigación (sujeto) y los agentes involucrados (objeto de estudio), a fin de implicar a la población local en la propia investigación para solucionar las problemáticas definidas.

Los primeros pasos con la identificación y definición conjunta de las dinámicas de los cambios de usos del suelo permitieron que estas fueran modelizadas, estableciendo así los parámetros que debían ser incluidos en el modelo para poder representarlas.

El proceso se inició con la identificación de los agentes locales más pertinentes (generando un primer sociograma o mapa de agentes preliminar) conocedores de Doñana y su entorno, permitiendo así la incorporación de su conocimiento y facilitando una mayor implicación de dichos agentes en el proceso de modelización (HEWITT *et al.*, 2012). Esta identificación se llevó a cabo a través de la elaboración de un primer sociograma o mapa de agentes preliminar, el cual fue evolucionando según se avanzó en el proyecto. Se identificaron los agentes pero también los principales conjuntos de acción y las relaciones existentes entre los principales grupos, instituciones o personas que trabajan en el territorio estudiado.

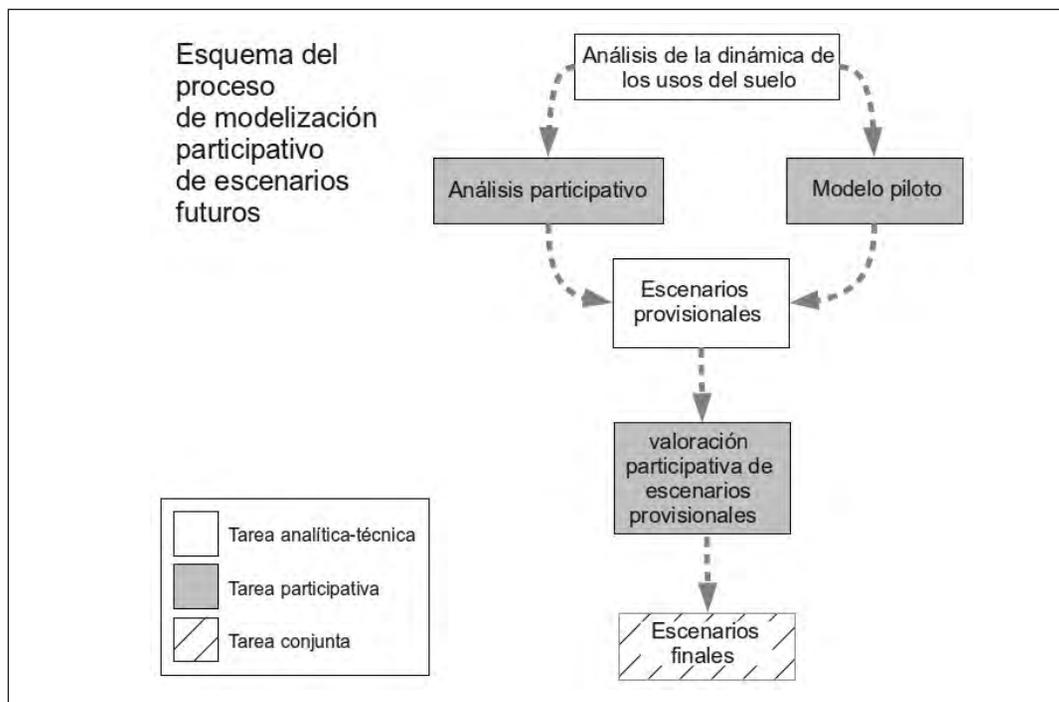


Figura 4. Proceso de modelización participativa y generación de escenarios de futuro.

Figure 4. Participatory modelling process and future scenarios generation.

RESULTADOS

Evolución de la ocupación del suelo en el periodo 1990-2000 y 2000-2006. Red de parques nacionales y áreas circundantes

Gran parte de los cambios observados se producen entre categorías de ocupación del suelo natural. Además, la cantidad de cambio entre 1990 y 2000 es mayor que entre 2000 y 2006 (promedio anual). Es decir, el periodo 1 ha sido más dinámico que el periodo 2. En toda la red existen grandes diferencias respecto a la cantidad de cambio, el ritmo de cambio y el tipo de cambio entre un parque y otro.

Los parques de Timanfaya e Islas Atlánticas no muestran ningún cambio en todo el periodo de estudio, según la base de datos de CLC. Aigües-

tortes, Cabrera, Caldera de Taburiente, Ordesa y Monte Perdido y Teide muestran pocos cambios o poca diversidad de cambios (p.e. solo natural a natural). Es evidente que estos 6 parques han experimentado menos cambios perceptibles a corto plazo en la forma y estructura de su territorio que los demás, aunque sin duda algunos cambios no llegan a detectarse debido a la escala y resolución de la fuente cartográfica utilizada. La tabla 2 muestra el porcentaje de cambio observado para cada parque, en las 3 zonas consideradas, para el conjunto del periodo 1990-2006.

Sin embargo los PPNN de Cabañeros, Doñana, Garajonay, Monfragüe, Sierra Nevada y Las Tablas de Daimiel sí muestran cambios significativos. A continuación se presenta una explicación detallada sobre cada uno de estos parques, acompañada por las figuras 5 a 11.

	PN %	Cantidad de cambio	%cambio PN	%cambio	Máxima área analizada
AIG	0.065	Poco	35	65	PRUG
CBN	3.591	Mucho	70	30	buffer
CBR	0.150	Poco	NA	NA	PN
CTB	1.463	Poco	82	18	buffer
DON	4.230	Mucho	79	21	buffer
GAR	1.875	Poco	14	86	buffer
ISL	NA	Poco	NA	NA	NA
MON	17.915	Mucho	79	21	buffer
OMP	1.685	Poco	14	86	buffer
PEU	2.564	Mucho	82	18	buffer
SNV	1.434	Poco	66	34	buffer
TdD	0.906	Poco	11	89	PRUG
Teide	3.060	Mucho	91	9	buffer
Timanfaya	NA	Poco	NA	NA	buffer

Tabla 2. Porcentajes de cambios en los usos del suelo 1990-2006 en el conjunto de la Red de Parques Nacionales españoles.

Table 2. Land use changes (%) in 1990-2006 in the Spanish National Parks Network.

Cabañeros

En Cabañeros (figura 5), se apreciaron cambios notables tanto dentro del núcleo del área protegida como en la zona colindante de 800 m. Destacó el crecimiento de áreas agrícolas; la superficie ocupada por TLS (o «Tierras de labor en secano»; ver tabla 1 para la descripción completa de cada categoría) aumentó en el periodo 1, pero se estabilizó en los años hasta 2006, e incluso experimentó un leve descenso en la zona *buffer*. Dentro del parque, las ganancias a TLS fueron en detrimento de BF y MBT, pero en el área *buffer*, los terrenos contribuyentes fueron PN. Aumentó también la superficie ocupada por TPA pero con importantes espacios de vegetación natural, siendo los «donantes» BF (en menor medida, en periodo 1), y BC (áreas de mayor tamaño, en periodo 2). Es interesante observar que la gran mayoría de estos cambios se produjo dentro del parque.

Fuera del límite del parque pero dentro de la zona *buffer*, 22 ha clasificadas como BC en 1990 se mostraron quemadas en 2000; este espacio aún no se había recuperado en 2006. Los cambios mayores se percibieron entre VE y MBT entre 1990 y 2000 – un 68% del área que presentaba cambios entre estas fechas se ubicó dentro de los límites del parque.

La dinámica principal de cambio de ocupación del suelo se relaciona con la gradual pérdida de áreas de bosque (BF y BC) que pasan a ser cultivadas. Los cambios entre las clases VE y MBT son a primera vista sorprendentes. No obstante, si se combinan las dos categorías para los mapas del parque y zona *buffer* (27.216 ha en 1990, 27.178 en 2000 y 27.214), no se observa prácticamente ningún cambio en el resultado conjunto (pérdida de 2 ha), con lo cual, cabría postular que los cambios quizás no son reales, sino el resultado de una confusión entre las firmas espectrales de los dis-

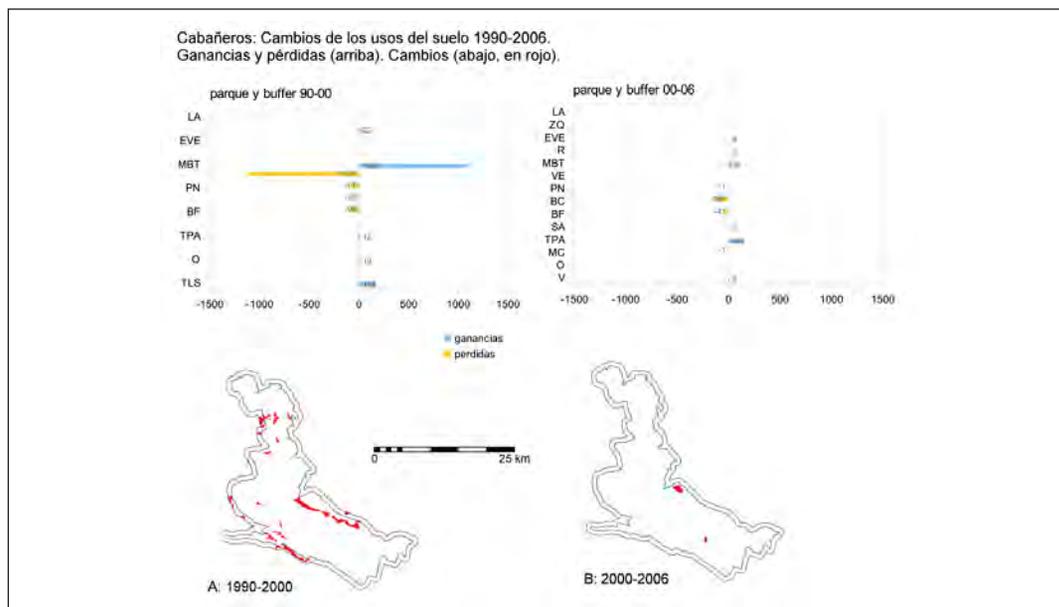


Figura 5. Parte superior: pérdidas y ganancias. Parte inferior: cambios. Izquierda: periodo 1 (1990-2000). Derecha: periodo 2 (2000-2006), Cabañeros.

Figure 5. Left: period 1 (1990-2000). Right: period 2 (2000-2006). Above: losses and gains. Below: changes, Cabañeros.

tintos tipos de vegetación, o bien de otro tipo de error en la clasificación.

Doñana

Dentro del Parque Nacional de Doñana (figura 6), la dinámica más notable es la fuerte disminución de zonas de bosque, especialmente BF, que aquí parece casi en peligro de extinción (ha perdido un 82,5% de su superficie entre 2000 y 2006). Se debe en su mayor parte al actual programa de eliminación de eucaliptales, una especie invasora introducida con anterioridad a las actuales políticas de conservación, para la explotación de su madera. Aparte de estos importantes cambios en las zonas de bosque, acompañados por el aumento de otros espacios naturales (VE y MBT), se detectaron cambios moderados en el régimen agrícola a partir del principio del periodo 2, con la conversión de 31 ha de BF en P, y de 28 ha de VE en TLS. Estos patrones se pueden interpretar como un leve au-

mento de actividad agraria dentro del propio parque. En la zona directamente adyacente se apreció un aumento importante de F en el periodo 1. Los usos principales contribuyentes (de mayor a menor importancia) fueron PN (55 ha), TRP (44 ha), TLS (30 ha), y VE (15 ha). También se vio una expansión moderada de TRP en el periodo 1, incorporando 29 ha de VE y MBT. Al mismo tiempo, TPA con importantes espacios de vegetación natural (TPA) perdieron superficie (-181 ha), una dinámica que se podría interpretar como evidencia de intensificación agrícola (más frutales, más regadío y menos cultivos en secano con vegetación natural).

La vulnerabilidad de la zona a la construcción de instalaciones relacionadas con el turismo se evidencian por la aparición en el periodo 1 de un camping de 52 ha (IDR) en una zona previamente ocupada por VE, en el litoral cerca del límite noroeste del parque (en una pequeña parcela sin protección relacionada con el complejo turístico

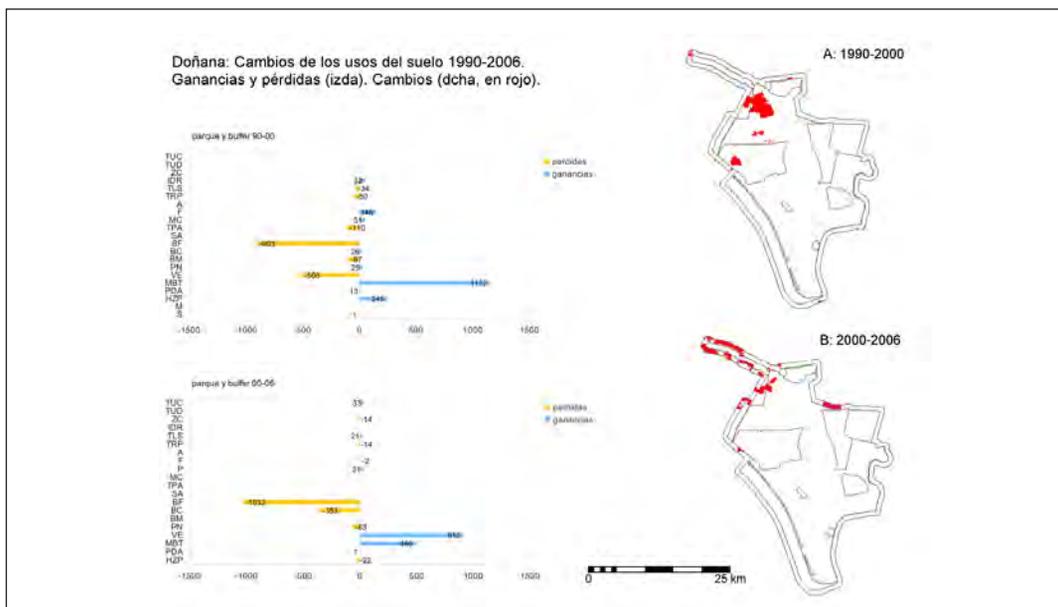


Figura 6. Parte superior: periodo 1 (1990-2000). Parte inferior: periodo 2 (2000-2006). Izquierda: pérdidas y ganancias. Derecha: cambios, Doñana.

Figure 6. Above: period 1 (1990-2000). Below: period 2 (2000-2006). Left: losses and gains. Right: changes, Doñana.

de Matalascañas). También se apreció una zona de construcción, de 53 ha, 15 de las cuales se han convertido en TUC en el periodo 2, dentro del área urbana de Sanlúcar de Barrameda.

En el caso de este parque, presentamos así mismo la matriz de confusión resultante (tabla 3) como muestra de los resultados numéricos obtenidos por la tabulación cruzada. Se han representado con distintos colores los 9 grandes conjuntos de cambios (las dinámicas presentadas en la tabla 4) y se han incluido las hectáreas cuya categoría de ocupación del suelo ha variado en el periodo analizado. Los códigos con que han sido designadas las diferentes categorías son los incluidos en la tabla 1.

Garajonay

En Garajonay (figura 7) no se observó ningún cambio de importancia dentro del parque entre 1990 y 2000. Entre 2000 y 2006 se observó un leve

aumento de BF a partir de unas pocas hectáreas de TLS (3 ha), BC (4 ha) y LM (2 ha). Sin embargo, BC aumentó ligeramente su área debido a la transformación a esta categoría de 4 ha de LM y 2 ha de VE. Fuera de la zona del parque, en las zonas limítrofes, destacó el aumento de V (27 ha, +9%) en el periodo 1, como resultado de la transformación de 27 ha de VE. Esta categoría también proporcionó 8 ha a BF.

En el periodo 2 destaca la transformación de TLS en TPA (11 ha) y BF (17 ha), una disminución total de TLS del 14%, la cual indica probablemente el progresivo abandono de zonas de cultivos. BF recibe 9 ha (0.7%) de LM. VE proporciona 25 ha (2,8%) a BF (5 ha) y BC (20 ha). 22 ha de V se convirtieron en BF, una estadística curiosa si se tiene en cuenta el aumento de 27 ha de viñedo entre 1990 y 2000. Conjuntamente, la pérdida de superficie de TLS y V puede quizás indicar que las políticas de gestión de las zonas limítrofes del parque no favorecen la explotación. La categoría

Sum - ha	DONBUF_PN90														Total								
DONBUF_PNO	1	9	12	13	14	16	21	22	23	24	25	26	28	29	30	35	37	38	41	43	44		
1	393																						393
9		52																					52
11			2685										52										52
12				158																			2685
13					146																		197
14						96																	146
16							140						21	15									175
21								79					46	16									202
22									1253														79
23										6203													1253
24											572												6203
25												1108	18										572
26													8066	87									1108
28														3039									8066
29															3884								3352
30																22804							3897
35																	931						23056
37																		305					931
38																			6604				305
41																				1348			6604
43																					2574		1348
44																							2574
Total Result	393	52	2685	201	146	96	392	79	1405	6210	640	1175	8266	3065	3884	22804	931	305	6604	1348	2587	63268	

Tabla 3. Matriz de confusión, o de transición en este caso, en la zona de Doñana y un área circundante de 800 metros entre los años 1990 y 2000.

Table 3. Confusion matrix, or more precisely, transition matrix in this case, in Doñana area and an 800 metres buffer between 1990 and 2000.

Grupo	Cambio representado
Artificial a artificial	Cambio de un uso artificial a otro, p.e. Zona de construcción a zona residencial
Agrícola a artificial	Nueva construcción en zona agrícola
Agrícola a agrícola	Cambio de un tipo de explotación a otro
Agrícola a natural/forestal	Cambio de uso agrícola a uso natural, p.e. Reforestación
Natural/forestal a artificial	Nueva construcción en zona natural
Natural/forestal a agrícola	Nueva explotación agrícola en zona natural
Natural/forestal a Natural/forestal	Cambio de un tipo de uso natural a otro, p.e. matorral a bosque.
Natural/forestal a zonas quemadas	Aparición de áreas quemadas como resultado de incendio forestal
Zonas quemadas a Natural forestal	Recuperación de áreas quemadas después de incendio forestal

Tabla 4. Las nueve dinámicas clave de cambio de los usos del suelo.

Table 4. Nine key land use change dynamics.

que más gana como resultado de los cambios es BF, que ve aumentada su superficie en un 1,5% (69 ha) en todo el área del parque y la zona colindante entre 1990-2006.

Monfragüe

Es importante destacar que, en el caso de Monfragüe (figura 8), las distinciones entre el área del

parque y el área fuera del parque son artificiales en cuanto a cambios históricos considerados aquí (1990-2006) puesto que no fue declarado como parque nacional hasta 2007, aunque gozó anteriormente de cierto grado de protección como parque natural. Por lo tanto, los resultados de este análisis nos permiten observar las dinámicas más importantes antes de su incorporación a la red de PPNN.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

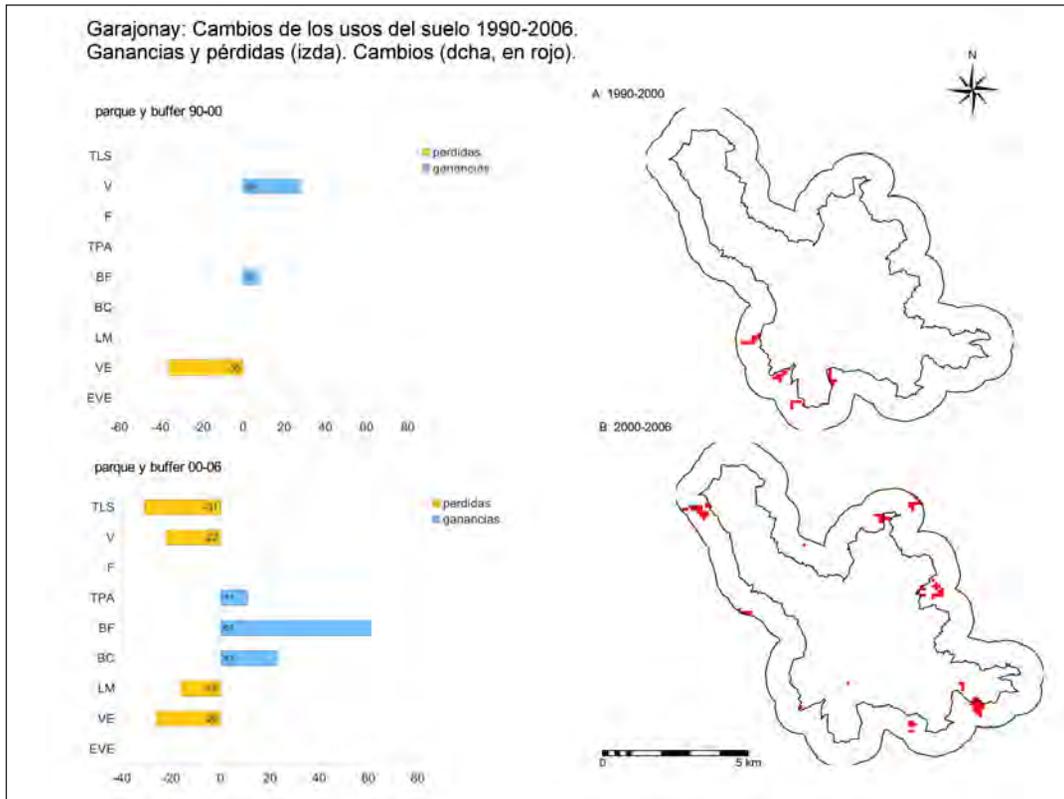


Figura 7. Parte superior: periodo 1 (1990-2000). Parte inferior: periodo 2 (2000-2006). Izquierda: pérdidas y ganancias. Derecha: cambios, Garajonay.

Figure 7. Above: period 1 (1990-2000). Below: period 2 (2000-2006). Left: losses and gains. Right: changes, Garajonay.

En ambos periodos se apreció un aumento importante de las zonas de matorral, tanto dentro del parque como fuera del mismo, acompañado por una fuerte disminución de superficie de VE. A partir de este análisis, no se puede afirmar con seguridad que estas variaciones representen verdaderos cambios en la vegetación y no se trate de incertidumbres de clasificación temática debidas a dificultades de distinción entre firmas espectrales. Sin embargo, es arriesgado descartar la posibilidad de que al menos algunos de estos cambios sean reales, ya que se ha detectado un incremento notable en la suma de las dos clases VE y MBT entre 1990 y 2006 (área total, parque y *buffer*), desde 13.325 ha en 1990 hasta 14.379 ha en 2006 (7,9%). En el periodo 2, la zona sufrió un

incendio forestal que produjo la pérdida de 170 ha de matorral (139 ha dentro del parque, 31 ha fuera). El fuerte incremento de esta categoría (MBT) entre 1990 y 2006 es por lo tanto doblemente preocupante debido al elevado riesgo de incendio que este incremento supone. El aumento de matorral se debe en gran parte a la pérdida de zonas de bosque, BF, que ha reducido su superficie en 790 ha (18%), y BC, que perdió aún más superficie (1.425 ha, 70,6%) entre 1990 y 2006.

En cuanto al espacio agrario, se detectaron varios cambios significativos. En primer lugar, la categoría más abundante, sistemas agroforestales, experimentó fuera de la zona del parque leves au-

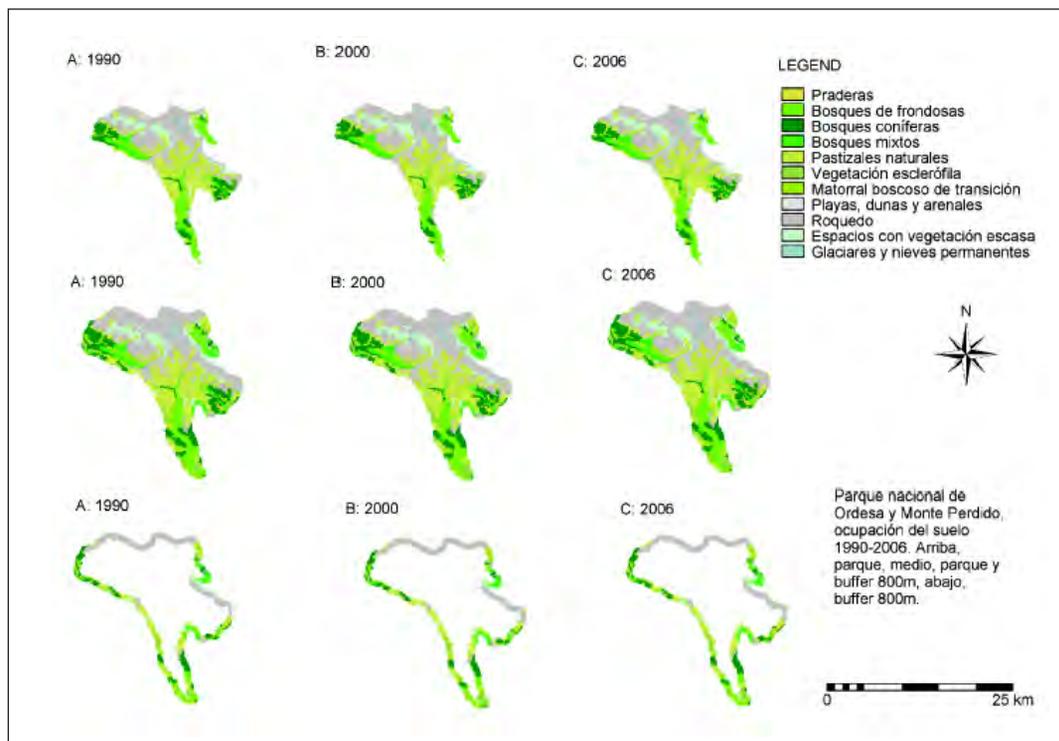


Figura 8. Resultados de tabulaciones cruzadas en Monfragüe (parque nacional, parque y buffer, buffer).

Figure 8. Cross-tabulation results for Monfragüe (national park, park and buffer, buffer).

mentos tanto en el periodo 1 (109 ha) como en el periodo 2 (77 ha). En el periodo 2 aumentaron las praderas en 313 ha, 60 ha dentro del parque y 253 ha en la zona *buffer*. Otras categorías de explotación agrícola, que cuentan con pocas hectáreas de suelo con respecto a las abundantes áreas de vegetación o los sistemas agroforestales, también experimentaron cambios. En el caso de las tierras de labor en secano dentro del parque, se perdieron 38 ha (50%) entre 2000 y 2006. Las 123 ha de cultivos en regadío, mayoritariamente fuera del parque, se mantuvieron estables a lo largo del periodo de estudio. La pérdida de zonas de cultivos y el aumento de zonas agroforestales puede corresponder a cambios en el enfoque de la actividad agraria asociados con modificaciones en el régimen de subsidios de la Política de Agricultura Común (PAC) de la Unión Europea (UE).

Picos de Europa

En el parque de los Picos de Europa (figura 9) y su zona colindante ha aumentado de manera significativa el área ocupada por BF entre 1990 y 2006, desde 22.102 ha en 1990 a 22.478 ha en 2006, un aumento de 376 ha (1,7%). En el periodo 1, la mayoría de las hectáreas convertidas en bosque lo fueron en detrimento de PN, pero en el periodo 2, EVE, MBT y LM son los contribuyentes más importantes. La categoría que más hectáreas ha perdido en el periodo de estudio entero es EVE, que perdió 923 ha (7%) de su superficie entre 1990 y 2006. En la zona limítrofe, se ha visto un aumento ligero de P entre 2000 y 2006. En resumen, los cambios se caracterizan principalmente por un aumento de bosque y una disminución de superficie de vegetación.

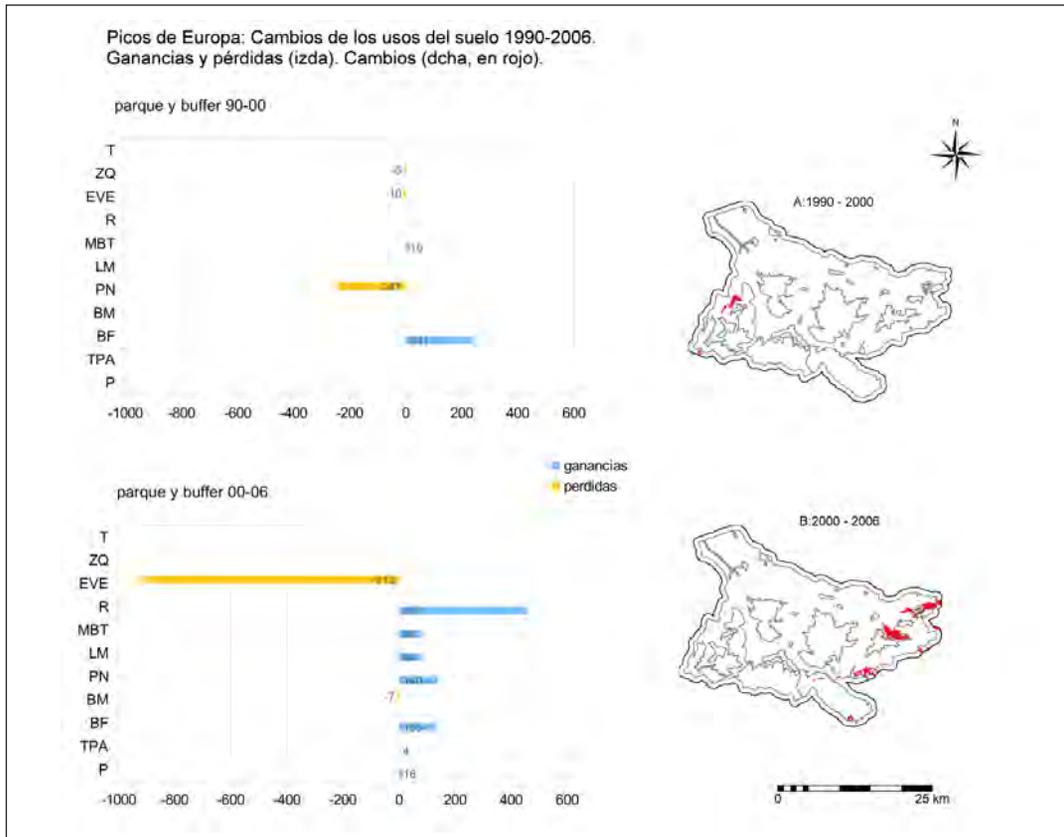


Figura 9. Parte superior: periodo 1 (1990-2000). Parte inferior: periodo 2 (2000-2006). Izquierda: pérdidas y ganancias. Derecha: cambios, Picos de Europa.

Figure 9. Above: period 1 (1990-2000). Below: period 2 (200-2006). Left: losses and gains. Right: changes, Picos de Europa.

Sierra Nevada

En el Parque Nacional de Sierra Nevada (figura 10), los cambios más importantes se apreciaron entre 1990 y 2000. Dentro del parque, destacan la creación de nuevas áreas de cultivos en secano (47 ha de TLS), la disminución de áreas de BC y VE y el aumento de BM y MBT. El riesgo de incendio en esta zona es también evidente; a pesar de la recuperación de 52 ha de áreas anteriormente quemadas, un nuevo incendio entre 1990 y 2000 provocó la pérdida de 30 ha de VE. En las zonas limítrofes, lo más destacable fue una serie de cambios en los terrenos agrícolas, con aumento de TLS (10 ha), F (69 ha) y TPA (45 ha), y la pérdida de 17 ha de terrenos en regadío que se

convirtieron en MC. Aunque individualmente de poca importancia, estos cambios conjuntamente reflejan un aumento de actividad agraria entre 1990 y 2000. Las zonas de bosque aumentaron ligeramente, mientras las dos categorías más importantes de vegetación, VE y MBT, disminuyeron entre 1990 y 2000. Se apreció también la recuperación de 33 ha de suelo previamente quemado. Los únicos cambios de interés en el periodo 2 se observaron dentro del área del parque, y consistieron en un leve aumento de las zonas de bosque (BC y BM), con lo cual cabría sugerir que los motivos que provocaron los cambios observados en el periodo 1 no han mantenido su importancia a partir del año 2000. El mayor interés de este parque en base a los cam-

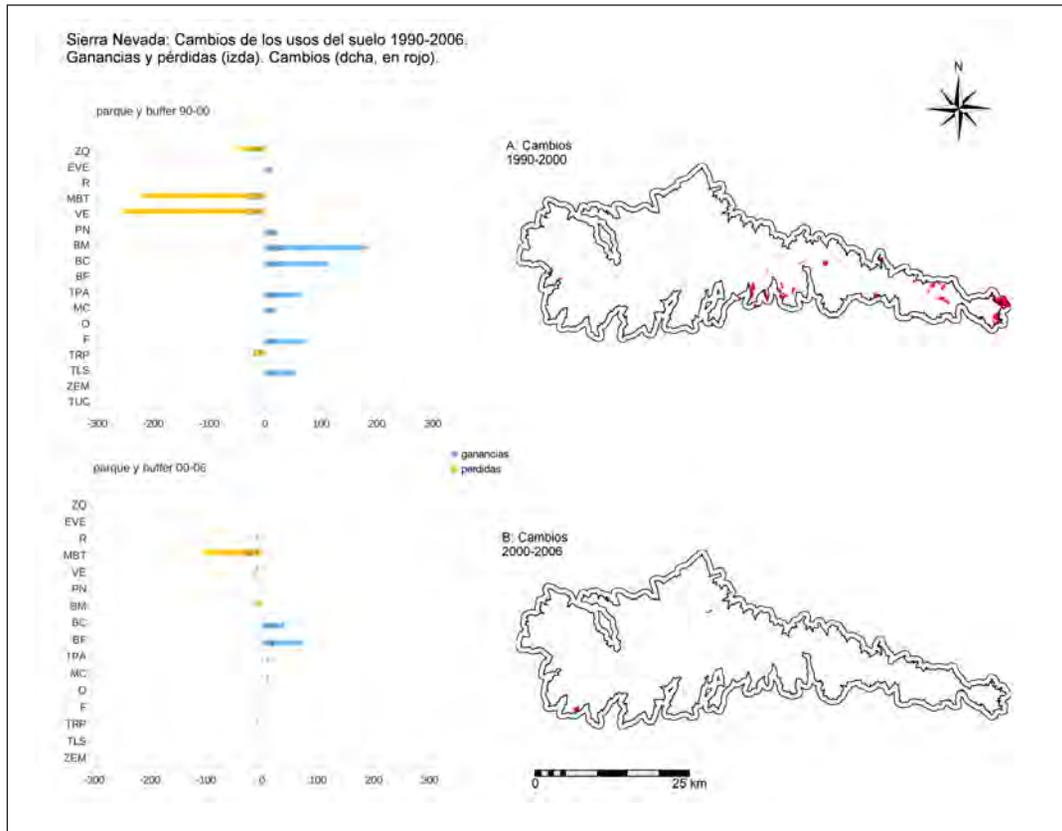


Figura 10. Parte superior: periodo 1 (1990-2000). Parte inferior: periodo 2 (2000-2006). Izquierda: pérdidas y ganancias. Derecha: cambios, Sierra Nevada.

Figure 10. Above: period 1 (1990-2000). Below: period 2 (200-2006). Left: losses and gains. Right: changes, Sierra Nevada.

bios observados se centra en la gran diferencia entre las dinámicas de cambio dentro del parque y las que sucedieron en las zonas limítrofes. Es también importante observar que este parque es el único de todos los estudiados en el que ocurrieron dos incendios dentro del periodo de estudio. Aunque la zona inicialmente quemada se recuperó, un segundo incendio ocurrido poco tiempo después afectó a una zona cercana aunque no adyacente. Parte del área quemada recuperada después del incendio 1, se encuentra en la zona de *buffer*. También es notable que, a diferencia de la mayoría de los otros parques investigados, dos zonas de suelo artificial, extracción minera y tejido urbano discontinuo, se

encuentren dentro del parque y en la franja limítrofe.

Tablas de Daimiel

En las Tablas de Daimiel (figura 11) los cambios producidos consisten en la transformación de 28 ha de MC en TRP en el periodo 1, produciéndose todos fuera del parque aunque dentro del área protegida bajo el PRUG. Entre estas fechas también se transformaron 26 ha de HZP en TLS. Teniendo en cuenta los conocidos problemas de agua en este parque nacional, la transformación de cultivos en secano en regadío no es un cam-

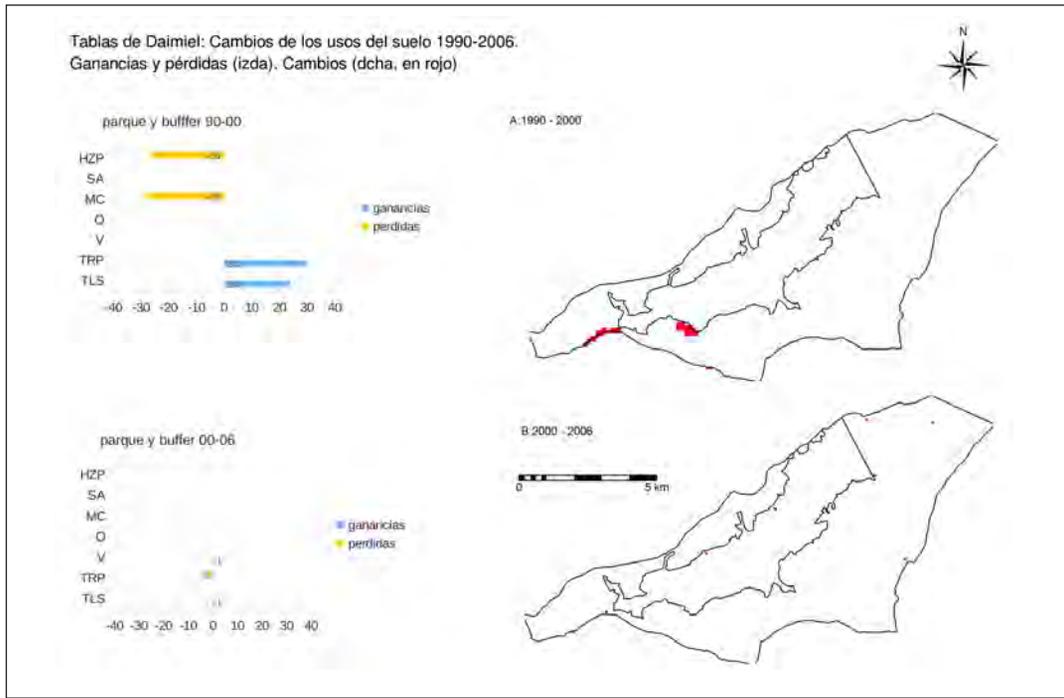


Figura 11. Parte superior: periodo 1 (1990-2000). Parte inferior: periodo 2 (2000-2006). Izquierda: pérdidas y ganancias. Derecha: cambios, Tablas de Daimiel.

Figure 11. Above: period 1 (1990-2000). Below: period 2 (200-2006). Left: losses and gains. Right: changes, Tablas de Daimiel.

bio deseable. Del mismo modo, la pérdida de 26 ha de humedales (4 ha dentro del parque) para cultivos en secano es probablemente indicativa de la vulnerabilidad del parque a la pérdida de agua subterránea como consecuencia de la sobreexplotación de este recurso en las zonas colindantes. No obstante, ninguna de estas tendencias se presentó en el análisis del periodo 2, lo que interpretamos como un indicador positivo en cuanto a conservación se refiere.

A partir de estas tabulaciones cruzadas, se definieron 9 dinámicas clave de cambio (tabla 4), de la siguiente manera: 1. de artificial a artificial, 2. de agrícola a artificial, 3. de agrícola a agrícola, 4. de agrícola a natural, 5. de natural a artificial, 6. de natural a agrícola y 7. de natural a natural). Lógicamente, no se dio ningún cambio de artificial a agrícola ni de artificial a natural. Aunque teóricamente posible, estos cambios no suelen darse. A

estos 7 tipos de transición, se le añadieron otros 2 utilizando la categoría «área quemada» del nivel 3 de CLC. Estas transiciones fueron: «de área quemada a natural» y «de natural a área quemada».

Las figuras 12 y 13 muestran estos cambios en cada uno de los parques en los dos periodos considerados.

Dinámicas 1, 2 y 5: Cambios a suelo artificial (urbanización y desarrollo de infraestructuras).

En el conjunto, se observaron muy pocos cambios relacionados con urbanización (Art-Art, Agr-Art, Nat-Art). Solo en el entorno del parque nacional de Doñana (figura 6) se detectaron estos tipos de cambios.

Dinámicas 3, 4 y 6: Cambios relacionados con la actividad agraria.

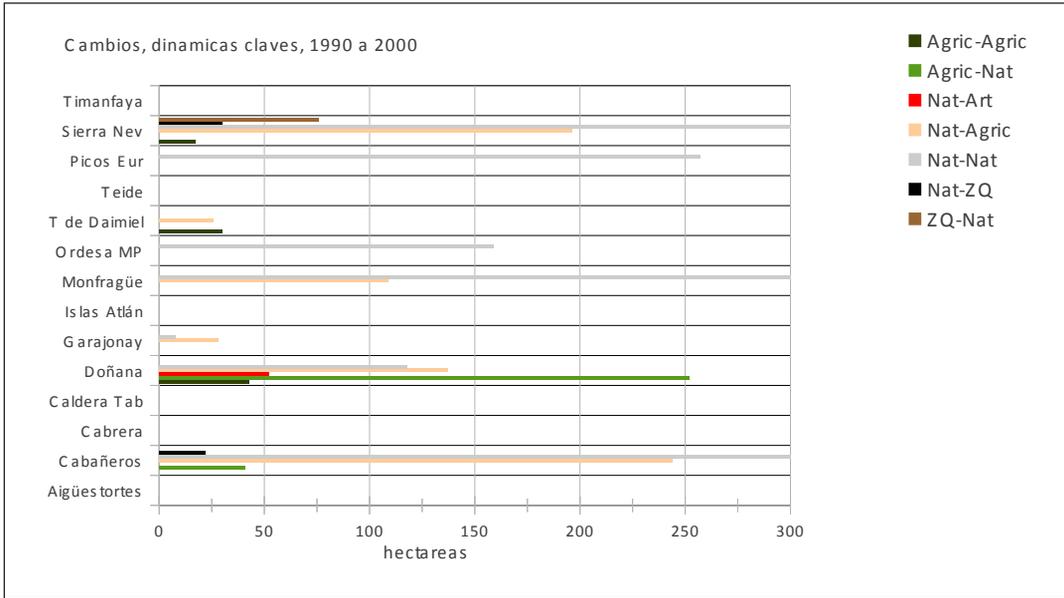


Figura 12. Dinámicas de cambio clave 1990-2000.

Figure 12. Key change dynamics 1990-2000.

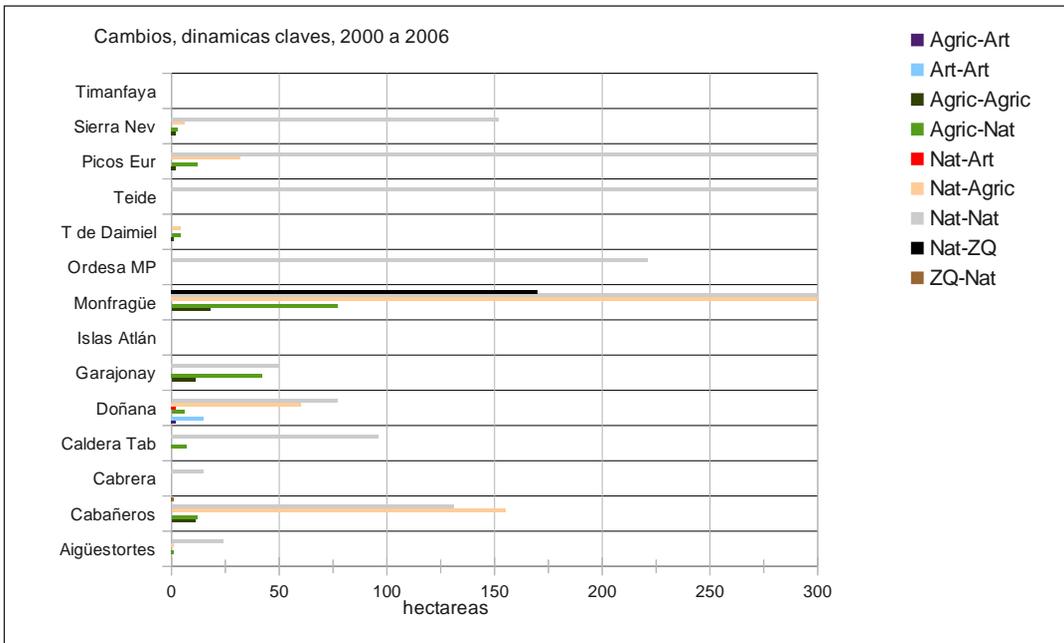


Figura 13. Dinámicas de cambio clave 2000 – 2006.

Figure 13. Key change dynamics 2000 – 2006.



Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

Actividades agrícolas están presentes dentro, o en el entorno próximo, de la mayoría de los parques.

Se pueden identificar dos tendencias claras:

1. Intensificación (dinámicas 3 y 6), representada aquí por cambios desde clases naturales a clases agrícolas (tabla 3), principalmente.
 - Nuevas áreas de TLS en Cabañeros en ambos periodos dentro del parque; en Doñana, en el periodo 2 dentro del parque; y en Sierra Nevada en el periodo 1 dentro y fuera del parque.
 - Nuevos cultivos en regadío (TRP y F, en Doñana en el periodo 1 fuera del parque)
 - Nuevas zonas de P, en Doñana en el periodo 1, dentro del parque; en Monfragüe, en el periodo 2, dentro y fuera del parque.
2. Abandono (dinámica 4), representado por la transición desde categorías relacionadas con la agricultura o la ganadería a categorías de vegetación natural. El periodo 1, se puede observar lo que probablemente representa el abandono de parte de la actividad agrícola y la transición consecuente a áreas naturales en Doñana y Cabañeros. En el periodo 2, este tipo de cambio es también notable en otros parques, p.e. Garajonay, Monfragüe, Picos de Europa y otros. En concreto, es notable:
 - Conversión de TLS en VE en Cabañeros, en el periodo 1, dentro del parque, cambio de TLS a PN en Monfragüe, dentro del parque, en el periodo 2. La conversión de TLS y V en BF en Garajonay, en el periodo 2, principalmente en la zona *buffer*.
 - Conversión de SA en PN, en Monfragüe, en el periodo 2.
 - Supuesta conversión de 252 ha de TPA en Humedales y Zonas Pantanosas en la zona *buffer* de Doñana se atribuye a un error.

Dinámica 7: cambios entre categorías naturales
Se observaron unos cambios muy importantes, >1000 ha (10 km²), dentro de las categorías naturales, especialmente en los parques de Cabañeros,

Monfragüe, Picos de Europa y Sierra Nevada. La mayoría de estos cambios consisten en cambios ente VE y MBT, quizá relacionados con la dificultad existente para diferenciar entre estas dos clases en las imágenes obtenidas por satélite. Algunos cambios, como por ejemplo la transición (entre otros cambios naturales-naturales) de 20 km² de Bosque a MBT dentro de los límites de Monfragüe, son, cuando menos, sorprendentes.

Dinámicas 8 y 9: Incendios forestales

Se observa la presencia de incendios forestales en los parques de Cabañeros, Monfragüe y Sierra Nevada (Nat-ZQ), y recuperación de vegetación después de un incendio en Sierra Nevada (ZQ-Nat) y Picos de Europa.

Humedales

Por último, los humedales (humedales y zonas pantanosas, marismas y salinas) están representados solo en dos parques; Doñana y Las Tablas de Daimiel. Aunque se han incluido en las categorías naturales en la clasificación de dinámicas, su destacada importancia para la biodiversidad les hace merecedoras de una nota por separado. En Daimiel, se han convertido 26 ha de HZP a TLS entre 1990-2000. En Doñana, la conversión de 252 ha de TLS en HZP entre 1990 y 2000 es claramente un error de clasificación. Por otro lado, parece más seguro la conversión de 14 hectáreas de HZP a vegetación natural, 8 ha a marismas o salinas, y 14ha a agua. Aunque la evidencia es escasa, tanto en Daimiel como en Doñana, la tendencia se inclina hacia la pérdida de zonas húmedas, no al contrario. La desecación o contaminación de los humedales en Daimiel y en Doñana es probablemente la amenaza más grave a la que se enfrentan. En ambos casos, será importante controlar a largo plazo la explotación del agua para usos agrícolas y la explotación ilegal de agua a través de pozos.

Cambios extraños o de difícil interpretación

Existen algunos cambios de difícil explicación. Un caso sería la transformación de 252 ha de TPA en HZP, como aparentemente ha sucedido en el entorno de Doñana entre 1990 y 2000. In-

ESCOBAR, F. Y COLS.

vestigando la ubicación precisa de este cambio no queda mucha duda de que se trata de un error de clasificación en una de las fechas. Se trata de un terreno ocupado, al menos parcialmente, por arrozales clasificados erróneamente como humedales. El cambio anteriormente mencionado de 20 km² de Bosque a MBT dentro de los límites del parque de Monfragüe, puede ser resultado de un incendio. En términos generales, los cambios entre zonas de bosque y vegetación y de matorral a vegetación esclerófila o viceversa, no parecen ser muy fiables, y es posible que se trate de errores de clasificación temática resultado de las similitudes entre las firmas espectrales de los dos tipos de vegetación. Pero igualmente, hay que aceptar la posibilidad de que sean reales, provocados por motivos desconocidos. Por esta razón, entre otras, se recomienda trabajar con agentes locales conocedores de la zona antes de extraer conclusiones relevantes para futuras políticas de gestión (HEWITT *et al.*, 2014).

Limitaciones de CLC

CLC presenta obvias limitaciones, como se evidencia en este estudio y en muchos otros que se han realizado utilizando esta base de datos (GALLEGO 2000, FELICÍSIMO y SÁNCHEZ GAGO 2002, CATALÁ *et al.*, 2008, HEWITT y ESCOBAR 2011, DÍAZ y GUTIÉRREZ 2013). Pero la percepción de que CLC no es válido para este tipo de análisis es fácilmente refutable mientras se quiera comparar distintas fechas para la detección de cambios a una escala razonable, ya que no existe otra base de datos más apta para la tarea.

Una vez los 14 PPNN han sido sometidos a un análisis detallado de cambios de los usos del suelo entre 1990-2006, la aplicación de una serie de indicadores espaciales permite clasificar los 14 parques en función de los cambios provocados sobre el periodo de estudio y el dinamismo observado (tabla 5) y al mismo tiempo permite elegir el parque más idóneo para la aplicación del modelo de simulación basado en AC.

Destacaron los parques de Cabañeros, Doñana, Garajonay, Monfragüe, Picos de Europa, Sierra

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

Nevada y Tablas de Daimiel. Estos 7 parques contaban con cambios significativos observables en CLC (indicador 1), y en todos los casos, los cambios se observaron entre los grandes grupos de usos del suelo, artificial, agrícola y natural (humedales incluidos). Doñana destacó en este sentido, con transformaciones Natural-Artificial, Natural-Agrícola, y Agrícola-Natural. Sierra Nevada y las Tablas de Daimiel solo contaban con transformaciones Natural-Agrícola, mientras Cabañeros, Garajonay y Monfragüe mostraron cambios entre suelo Agrícola y Suelo Natural (Indicador 2). Todos estos parques, menos Garajonay y Sierra Nevada, experimentaron importantes cambios (dentro del periodo de estudio >x% de su superficie) (indicador 3). En estos parques se observaron cambios en los dos periodos examinados (indicador 4). Todos los cambios podrían implicar algún grado de desacuerdo entre distintos agentes territoriales, mayoritariamente entre el sector agrícola y el de la conservación. En Doñana una posible fuente de conflicto entre la conservación y el uso turístico podría detectarse por la construcción de una zona de acampamento (IDR) de 52 ha en el litoral adyacente al área protegida al noroeste de Matalascañas (indicador 5). Hay una clara amenaza de incendio forestal, con índices de pérdida de vegetación debido a incendios o recuperación de vegetación después de incendios en Cabañeros, Monfragüe y Sierra Nevada (indicador 6). En estos parques, excepto en Garajonay, el aumento ligero de usos agrícolas, pastos o agroforestal, si se consideran incompatibles con el espacio natural, podrían suponer un riesgo para los valores naturales, los servicios de ecosistemas o los hábitats, aunque se necesitaría un estudio más profundo para poder confirmarlo (indicadores 7 y 8). A la luz de los análisis, Doñana resulta apreciablemente amenazada en este aspecto por motivos relacionados con el desarrollo urbanístico y con la intensificación agrícola cerca de la zona de máxima protección. Estos 6 parques, menos las Tablas de Daimiel, registran un número muy elevado de categorías de uso/ocupación del suelo. Doñana supera claramente a los demás, con 25 categorías distintas en tan solo 730 km² (indicador 9), debido en parte a la diversidad de espacios naturales, pero también a la gran cantidad de distintas actividades hu-

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

Nº	Indicador	AIG	CBN	CBR	CLT	DON	GAR	ISA	MON	OMP	PIC	SNV	TDA	TEI	TIM
1	Cambios observables en el tiempo en CLC	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
2	Cantidad de cambio	Poco	Mucho	Poco	Poco	Mucho	Poco	Nada	Mucho	Poco	Mucho	Poco	Poco	Mucho	Nada
3	Cambios a través de grupos, No solo entre grupos (p.e. Ag-N, No N-N)	No	Si (Agr-Nat; Nat-Agr)	No	No	Si (Agr-Nat; Nat-Agr, Nat-Art)	Si (Agr-Nat; Nat-Agr)	No	Si (Agr-Nat; Nat-Agr)	No	Si (Agr-Nat; Nat-Agr)	Si (Nat-Agr)	Si (Nat-Agr)	No	No
4	Frecuencia de cambio	1 (2006)	2	1 (2006)	1 (2006)	2	2	0	2	2	2	2	2	1 (2006)	0
5	Cambios que pueden provocar desacuerdo entre distintos agentes territoriales	No	Si ¹	No	No	Si ¹	Si ¹	No	Si ¹	No	Si ¹	Si ¹	Si ¹	No	No
6	Incendios forestales	No	Si	No	No	No	No	No	Si	No	Si	Si	No	No	No
7	Riesgo de daño o pérdida a los valores que le hace merecedor de la figure de PN	No	Si ²	No	No	Si ⁸	No	No	Si ⁶	No	Si ⁷	Si ⁸	Si ⁸	No	No
8	Riesgo a servicios de ecoSistemas (p.e. aumento de riego)	No	Si ⁹	No	No	Si	No	No	Si ⁹	No	No	Si	Si	No	No
9	Amplia gama de cats. y grupos de cats. (artif, agric, nat)	No	Si ³	No	No	Si	Si ³	No	Si ³	No	No	Si	Si	No	No
10	Diferencias entre zona limítrofe y área núcleo	No	Si ⁴	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Si	Si	No	No
11	PRESIÓN Y COMPETICIÓN entre usos	No	Si ⁵	No	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Si	No	No

Tabla 5. Resultados de la aplicación de los indicadores a los parques.

Table 5. Indicators results for all the parks.

manas (13 de estos 25 usos son antrópicos) que tienen lugar en el entorno más próximo al parque (indicador 8). En Cabañeros, Doñana, Garajonay, Sierra Nevada y las Tablas de Daimiel se observaron diferencias entre la zona núcleo (parque nacional) y las zonas limítrofes. Los cambios, mayoritaria aunque no exclusivamente, sucedieron en la zona *buffer* (indicador 10).

Aunque en todos estos parques se observaron cambios sorprendentes y significativos, el que más dinamismo mostró, según los indicadores establecidos, fue Doñana. Este fue el espacio natural con más categorías (25) y el que más diversidad y continuidad temporal de cambios exhibió. Doñana destaca en una combinación preocupante con una alta tasa de cambio, cambio

ESCOBAR, F. Y COLS.

en las dos fechas y alta variabilidad de cambio entre los diferentes grupos de usos del suelo (artificial, agrícola, natural, véase la tabla 1). La combinación de una zona limítrofe donde se ha urbanizado y se han instalado nuevos regadíos entre 1990 y 2000, a pesar de la importancia del acuífero para el suministro de las marismas, y la gran representación de muchas clases de superficie artificial, agraria, humedal y natural en el parque y su entorno más próximo convierte a Doñana en el más amenazado en lo que a la conservación del mosaico de usos del suelo se refiere. El aumento de cultivos intensivos, por muy leve que sea, es preocupante dada la conocida presión sobre los acuíferos que dan vida a las marismas y al parque y su entorno (CUSTODIO *et al.*, 2008). Existe una situación potencialmente conflictiva entre la conservación de la naturaleza y la demanda humana a través de varios sectores, entre ellos la agricultura y el turismo. Las dinámicas observadas en este parque y en su entorno más próximo sobre el periodo de estudio claramente sugieran una importante tendencia hacia una competición entre usos y una alta presión sobre el medio (indicador 11).

Resultado del modelado participativo

En esta sección se presentan conjuntamente los resultados del modelo de cambios de usos del suelo implementado con los del proceso participativo ya que a partir de los talleres celebrados se establecieron los principales parámetros a introducir en el modelo. Los resultados de modelo y participación van en este caso inseparablemente unidos (HEWITT *et al.*, 2014).

En la tabla 6 se recogen las principales fases del modelado y el *input* recibido, en cada una de las mismas, desde el proceso participativo, así como el método equivalente que seguido desde el laboratorio en ausencia de participación.

El 22 de Febrero de 2012 se celebró el primer taller participativo con quince participantes cuyo objetivo múltiple fue informarles acerca del proyecto DUSPANAC y del modelo Metronamica y recopilar información clave para la parametrización del propio modelo. En una primera ac-

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

tividad se definieron las categorías del suelo más relevantes que explican las dinámicas de cambio acontecidas en Doñana y su entorno. Para ello el equipo de investigación ya había trabajado previamente sobre la base de datos de la Junta de Andalucía (MOREIRA, 2007), reduciendo de 107 categorías de usos/ocupación del suelo a 48 categorías que se trabajaron directamente en este taller. A partir de este momento se incorporó el conocimiento local construyendo participativamente una nueva agrupación de categorías de usos del suelo consensuada que representara lo más sintéticamente y cercana a la realidad los cambios ocurridos. Los participantes se dividieron en 3 grupos de 4/5 personas y se repartieron 48 tarjetones que posteriormente se sometieron al ejercicio de discusión para su agrupación. Seguidamente, se realizó una puesta en común de los diferentes grupos con el objetivo de consensuar la agrupación común y representativa.

El resultado tangible de esta primera actividad consistió en la definición de las 23 categorías finales de usos del suelo que serían introducidas en el modelo (tabla 7).

La siguiente actividad clave de este primer taller participativo consistió en recoger las opiniones de los agentes sobre los cambios de usos del suelo que se han observado en Doñana a partir de los estudios realizados previamente. Con este fin, se llevó a cabo un análisis de las dinámicas observadas manteniendo el formato de trabajo en grupos y con una posterior puesta en común. Esta actividad orientó al equipo de investigación a entender las dinámicas de usos del suelo en torno a atributos como la vecindad, la zonificación y la idoneidad, para la posterior fase de gabinete de parametrización del modelo.

En este primer taller se pretendió conseguir la máxima inclusividad posible, aunque la convocatoria de participantes no fue abierta ya que se mantuvo limitada a los que mejor podrían contribuir a alcanzar los objetivos concretos, es decir, la parametrización del modelo, con la posibilidad de aumentar el número y el tipo de participantes en talleres posteriores.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

Pasos del proceso de modelado	Pasos concretos	Método participativo	Método analítico-técnico
1. Decisiones relativas a las especificaciones de la aplicación	Determinación del área a modelar	Taller 1: los agentes evalúan el área más idónea para reflejar las dinámicas	Los investigadores basan sus decisiones en las dinámicas observadas y en su propio conocimiento
	Selección de las clases de usos del suelo para el modelo	Taller 1: los agentes seleccionan y reclasifican las categorías de usos del suelo.	Selección de las clases de acuerdo con las dinámicas de cambio observadas en la tabulación cruzada
	Asignación de comportamientos a las clases de ocupación del suelo como: activas (dinámicas, cambios como resultado de demandas externas, ej. suelo residencial, cultivos en regadía), pasivas (dinámicas, no cambian debido a demandas externas sino a como resultado de la expansión de las clases activas, ej. vegetación natural), y estáticas (no cambian, ej. mar, lagos).	Taller 1: los agentes evalúan las dinámicas. Las respuestas y comentarios de los agentes ayudan a comprender qué clases son las más relevantes para el modelado en la zona y porqué	Asignación de grupos de clases de usos del suelo de acuerdo a las dinámicas observadas en la tabulación cruzada
	Elección de la resolución espacial	Sin participación	Elegida por los investigadores en base a su propio conocimiento y a la disponibilidad de datos
2. Análisis de las dinámicas de cambios de usos del suelo en el territorio a modelar		Taller 1: los agentes evalúan las dinámicas, las pérdidas y ganancias de cada categoría y la calidad de los mapas producidos	Tabulación cruzada de usos del suelo
3. Preparación de los datos y especificaciones al modelo para el periodo de calibración	Mapas input de ocupación del suelo. Preparación de las capas de accesibilidad, idoneidad y zonificación.	Sin participación hasta que los parámetros deban ser definidos en paso 4 (abajo)	Preparación de los datos e incorporación de todos los parámetros en el modelo
4. Calibración	Establecimiento de reglas de vecindad Establecimiento de: (1) parámetros de estocasticidad, (2) parámetros de accesibilidad, (3) parámetros de idoneidad.	Los agentes definen los parámetros a partir de la información recogida en el taller 1	Manipulación del modelo y los datos, análisis estadístico y testeo (índices kappa sim, clumpiness e inspección, visual)
5. Testeo analítico/ evaluación de la calibración		Taller 2: inspección visual participativa de la exactitud celda a celda y de los patrones espaciales	Test estadístico sobre la calidad del modelo según su exactitud celda a celda y patrón espacial
6. Ajustes finales al modelo	Ajuste de los parámetros establecidos en el paso 4	Aplicación de los resultados del modelo participativo y posterior evaluación para la reconfiguración del modelo	Reconfiguración del modelo con nuevos datos y parámetros

Tabla 6. Procedimiento de modelado paso a paso integrado con las tareas analíticas y participativas más relevantes.

Table 6. Step-by-step model procedure, together with the relevant participatory and analytical tasks.

numero	categoria consensuada	color	corto Español corto inglés	
1	Urbano	178-34-34	URB	URB
2	Industrial	160-82-45	IND	IND
3	Infraestructura viaria, ferroviaria, aérea, portuaria y otr	49-79-79	INFVF	INFRR
4	Infraestructura hidráulica, salinas y acuicultura	119-136-153	INFHID	INFWATER
5	Minería, vertederos y zonas en construcción	160-32-240	MINCON	MINCON
6	Alterado, erosionado y talado	222-184-135	ALTER	ALTER
7	Arroz	255-160-122	ARROZ	RICE
8	Cultivos intensivos: bajo plástico	255-0-0	PLASTIC	PLASTIC
9	Cultivos intensivos: leñosos en regadío	255-69-0	REGLEN	INTWOOD
10	Cultivos intensivos: otros cultivos en regadío	255-255-0	REGOT	INTOT
11	Cultivos en seco: otros cultivos en seco	240-230-140	SECOT	DRYOT
12	Cultivos en seco: olivar y viñedo	107-142-35	VINOL	VINOL
13	Eucaliptales	46-139-87	EUCAL	EUCFOR
14	Pinares	0-100-0	PINAR	CONFOR
15	Otro Arbolado o arbolado mixto	50-205-50	OTFOR	OTFOR
16	Pastizales	154-205-50	PAST	GRASS
17	Matorral	85-107-47	MAT	SHRUB
18	Ríos y cauces naturales	95-158-160	RIOS	RIVERS
19	Lagunas naturales	135-206-250	LAG	LAKES
20	Sistema litoral natural	238-221-130	LITORAL	BEACH
21	Marisma no mareal	143-188-143	MNM	MARSHNT
22	Marisma mareal	32-178-170	MM	MARSHT
23	Mar y zonas mareales	95-158-160	MAR	SEATIDE

Tabla 7. Categorías de usos del suelo agrupadas según la actividad participativa realizada en el primer taller.

Table 7. Grouped land use categories after participatory activity in workshop 1.

El siguiente taller de calibración del modelo se realizó el 11 de Diciembre de 2012 y tuvo como objetivo principal la valoración participativa de las simulaciones realizadas en un modelo piloto en el que se consideraron tres escenarios extremos, el establecimiento de la demanda futura y la ubicación futura de los usos del suelo.

Se comenzó con una explicación sobre el funcionamiento del modelo y el papel de los agentes en su aplicación para la gestión territorial, y los resultados de la calibración del modelo. La primera actividad de valoración de dichos resultados consiguió acercar el modelo de usos del suelo a los participantes (de nuevo entre quince y veinte). La utilidad y el grado de ajuste del modelo no se determinan solamente con técnicas estadísticas, sino a través de una valoración participativa. Aunque la valoración con el ojo humano es subjetiva, la subjetividad disminuye cuando las simulaciones son evaluadas por un grupo amplio y diverso de personas. Además esta valoración

conlleva una mayor implicación en el entendimiento y conocimiento del modelo.

Se dividió a los participantes en 4 grupos los cuáles contaban con información en formato papel (cuatro simulaciones impresas en tamaño A3) y con información en formato digital (las correspondientes animaciones de las simulaciones en formato GIF animado) instaladas en 4 ordenadores. Dicha información se complementó con cartografía en tamaño A0 (posters colgados en las paredes de la sala). Esta actividad consistió en tres sub-tareas a realizar para las cuatro simulaciones dadas. Se entregó un cuestionario a cada grupo con el que se pretendía orientar para resolver cuestiones de ubicación, forma de manchas, evolución de la simulación y visión general para cada una de las categorías de usos del suelo.

Con esta actividad se consiguió comparar las diferentes simulaciones de la fase de calibración realizadas por el equipo investigador y con ello se

inició un proceso de reflexión sobre la utilidad del modelo en el entorno de Doñana.

Posteriormente se inició una segunda actividad destinada a la aplicación del modelo AC a los escenarios de Eco-futuro (PALOMO *et al.*, 2010) con el fin de identificar la demanda y la ubicación de los usos del suelo para cada uno de estos escenarios. De esta manera se dieron los primeros pasos para una modelización más elaborada y realista, habiendo basado el trabajo preliminar en tres simples escenarios generados por el equipo de investigación que pretendían únicamente servir para la evaluación del funcionamiento del modelo.

La actividad consistió en la estimación de la demanda de los usos del suelo (cantidad de hectáreas necesarias para cada uso futuro) en función de los 4 escenarios de Eco-Futuro (1. Doñana conocimiento globalizado, 2. Doñana marca registrada, 3. Doñana árida, 4. Doñana adaptativa: húmeda y creativa) a partir de un escenario base tendencial. Esta actividad generó una enriquecedora discusión sobre el realismo de los escenarios, y tras haber estimado dicha demanda, se procedió a la actividad de ubicación y localización de la demanda de usos del suelo, a través de un ejercicio de cartografía participativa. Se utilizó como base cartográfica el mapa de usos del suelo de 2007 en formato A0 en papel y se mantuvieron los mismos grupos con los que comenzó el taller. Cada grupo tenía como tarea construir

un mapa de demandas futuras de usos del suelo para el escenario de Eco-Futuro con el que había trabajado anteriormente. Para ello, se crearon mapas de usos del suelo para cada uno de los escenarios dados. Sobre el mapa, habiendo elegido (los participantes) los usos del suelo más relevantes para el escenario dado (quizás sean todos los usos o solo uno) se representó la localización/ubicación de la demanda de hectáreas futuras para dichos usos del suelo. Los participantes eligieron los usos del suelo más relevantes para el escenario dado y representaron la localización de la demanda de hectáreas futuras a través de la utilización de botones de distintos colores y tamaños que representaban la equivalencia en hectáreas y las ganancias o pérdidas de los distintos usos del suelo hasta alcanzar la demanda estimada en la primera parte de esta actividad (figura 14).

Sin duda, con estas actividades del segundo taller se generó un enriquecedor debate sobre la estimación y valoración de las tendencias socio-político-económicas sobre el territorio al igual que un mejor entendimiento de los cambios directos en la configuración de los usos del suelo.

Una serie de entrevistas (semi-estructuradas) con agentes clave de la administración regional, comarcal y municipal fueron llevadas a cabo tras la elaboración de este segundo taller participativo con el fin de averiguar la valoración sobre la futura utilidad del modelo participativo en la pla-

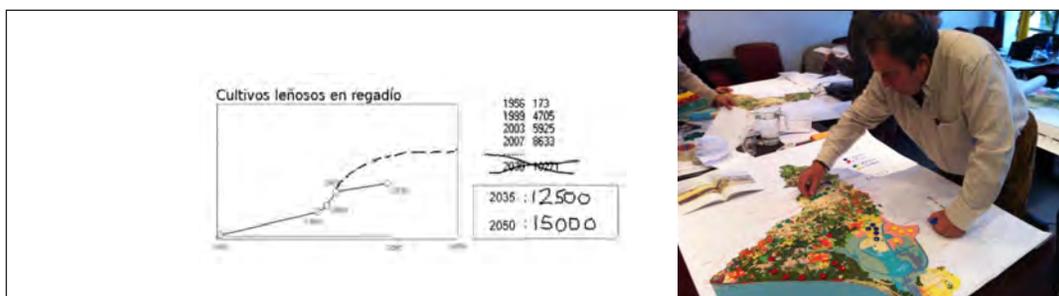


Figura 14. Actividad de estimación de la demanda (hectáreas) de la categoría “cultivos leñosos en regadío” (izda). Actividad Cartografía Participativa (dcha).

Figure 14. Activity on demand estimation (hectares) of the “cultivos leñosos en regadío” category (left). Participatory cartographic activity (right).

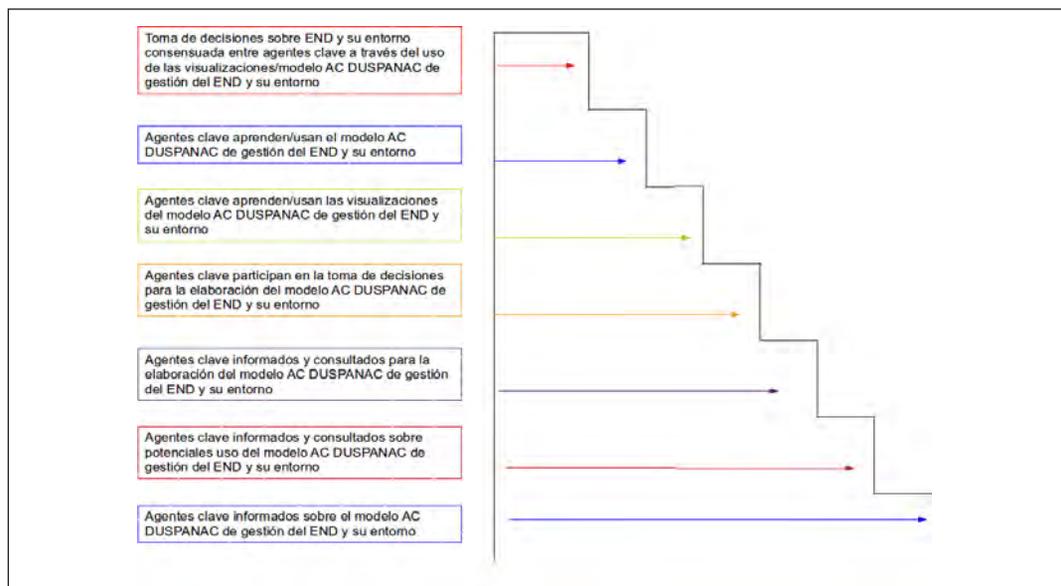


Figura 15. Escalera de participación para la evaluación del proceso participativo.

Figure 15. Ladder of Participation for the evaluation of the participatory process.

nificación regional, comarcal y municipal, al igual que buscando la posibilidad de actuar como repositorios de dicha información. Finalmente la opción que se determinó fue hacer disponible toda la información resultante a través de la página web.

El 25 de Septiembre de 2013 se llevó a cabo el último taller de la fase final del proceso participativo con una evaluación del proceso de modelización llevado a cabo (aplicación del modelo AC para la gestión territorial del Espacio Natural de Doñana y su entorno) realizado tanto por parte de los participantes como por el equipo de investigación. Se construyó una escalera de participación (figura 15) en la que los participantes al igual que el equipo de investigación se situaron principalmente entre los niveles 3 y 4 de la misma.

Además se realizó una actividad exploratoria de visualización de escenarios de Eco-futuro según el modelo AC DUSPANAC con tiempo para la interpretación, discusión y definición de futuros indicadores para la explotación de los resultados.

A partir del proceso descrito y de un intenso trabajo de calibración realizado en laboratorio, se obtuvieron los mapas finales de ocupación del suelo correspondientes a cada uno de los cuatro escenarios modelados. Estos mapas (figura 16) pueden ser consultados y descargados en el visor cartográfico desarrollado al efecto y disponible en la página web del proyecto DUSPANAC (www.geogra.uah.es/duspanac).

DISCUSIÓN

A lo largo de estas páginas hemos expuesto la metodología y resultados que llevaron al equipo de DUSPANAC a alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto.

El diagnóstico de los cambios de los usos del suelo en toda la red de parques, entre 1990 y 2006, fue elaborado a partir de los resultados del análisis de tabulación cruzada realizados en 3 áreas diferentes para cada parque nacional en los periodos 1990-2000 y 2000-2006. Como resultado de este diagnóstico, se seleccionó Doñana para la

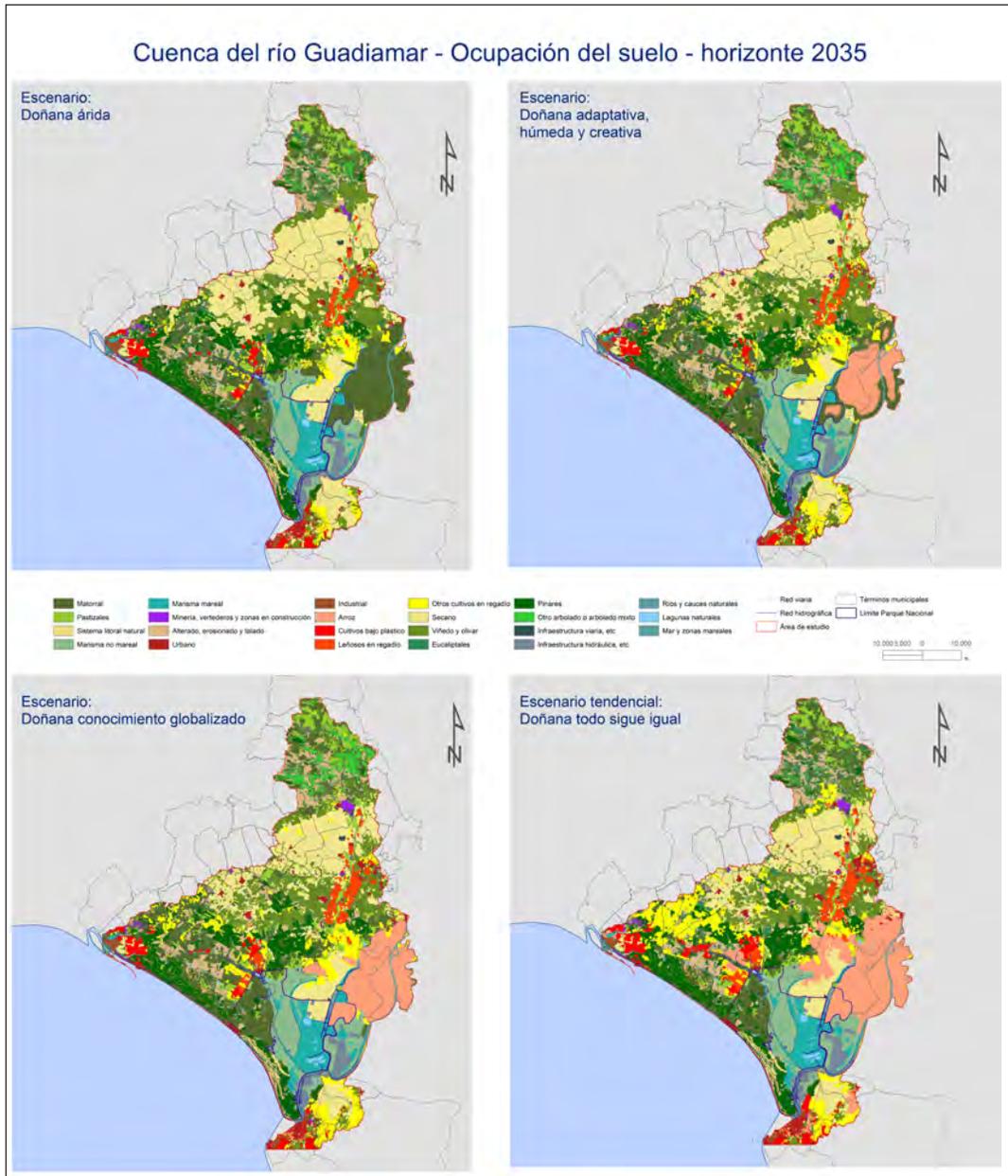


Figura 16. Modelos de ocupación del suelo en la Cuenca del río Guadiamar para el horizonte 2035 según cuatro escenarios distintos

Figure 16. Land use models in Guadiamar River basin for 2035 based on four different scenarios.

ESCOBAR, F. Y COLS.

implementación y aplicación del modelo basado en autómatas celulares.

El desarrollo de escenarios futuros y su correspondiente modelización con Metronamica fue posible tras un arduo proceso de calibración y el *input* aportado por los agentes en los talleres participativos.

El proceso participativo no se limitó a la mera inspección, crítica y aceptación o rechazo de los resultados del modelo, sino que formó parte esencial de todas las fases de la modelización. Las ventajas que presenta este enfoque han sido recogidas en las publicaciones resultantes de la investigación.

Sin embargo, a pesar del potencial de análisis que posee el modelo DUSPANAC para la evaluación de políticas sobre los escenarios de futuro generados, ésta no ha sido la finalidad del proyecto, quedando así abierta esta posible vía de desarrollo para informar sobre los efectos de las distintas políticas del Espacio Natural de Doñana.

El potencial del modelo desarrollado se ve negativamente afectado por la imposibilidad de contar con una base de datos homogénea, para toda la red de parques, de la calidad de la existente en la Junta de Andalucía. La única base de datos disponible a nivel nacional es CLC. A pesar de sus conocidas ventajas, su adopción no es posible en el modelado de aquellos parques nacionales en donde la dinámica de cambios no ha sido relevante entre las fechas que abarca (1990-2006).

La calidad del modelo desarrollado para la cuenca del río Guadiamar es considerada muy satisfactoria a juzgar tanto por los datos estadísticos de calibración y validación como por las opiniones vertidas por los agentes en las actividades de evaluación. Sin embargo, como se ha señalado anteriormente, no fue posible introducir más información a nivel municipal debido a la mínima representación de los ayuntamientos entre los agentes.

Por otro lado, el manejo y análisis de cartografía de ocupación del suelo no constituye una labor

«Usos del suelo. Evolución y modelado participativo»

central de ninguno de los grupos participantes en los talleres. Si el análisis de cartografía actual de este tipo no es frecuente, es de suponer que el análisis de mapas de este tipo a horizonte 2035 lo será aún menos. Consideramos esto como una limitación importante de la aplicabilidad del modelo, lo que abre las puertas a iniciativas divulgativas y docentes conducentes a demostrar la utilidad y relevancia de este tipo de información.

Otras líneas futuras de investigación deberían orientarse hacia la eliminación de barreras entre el usuario final y las herramientas actuales de modelado espacial, todavía demasiado incipientes como para poder ser adoptadas por un público no altamente entrenado.

Para concluir, es necesario insistir en que los avances en modelado espacial y desarrollo cartográfico de escenarios futuros se encuentran en su infancia. No hace tanto tiempo los Sistemas de Información Geográfica constituían una caja negra en la que solo los expertos eran capaces de hurgar, mientras que en la actualidad, son multitud las herramientas disponibles, con base SIG, diseñadas para el gran público. Es nuestro interés y afán el conseguir transferir a la sociedad en general y a los gestores de los espacios naturales en particular, herramientas futuras de modelado que no requieran de grandes cotas de especialización y entrenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Organismo Autónomo de Parques Nacionales (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) la financiación concedida en su convocatoria de 2010 (ref 118/2010), a los agentes que participaron en los talleres por su disposición y entusiasmo y su valiosa aportación al proyecto, a los miembros del OCT que colaboraron en las tareas técnicas y en el desarrollo y planificación de los talleres, a los miembros del Laboratorio de Socio-Ecosistemas de la Universidad Autónoma de Madrid por los interesantes intercambios y al Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Alcalá por su apoyo logístico y humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, P.M. & SANGLIER, M. 1978. Dynamic models of urban growth, *Journal of Social and Biological Structures*, 1(3), 265-280.
- ALLEN, P.M. & SANGLIER, M. 1979. A dynamic model of growth in a central place system, *Geographical Analysis*, 11(3), 256-272.
- ANTROP, M. 2000. Background concepts for integrated landscape analysis, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 77, 17-28.
- ANTROP, M. 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe, *Landscape and Urban Planning* 67 (2004) 9-26.
- BARREDO, J., KASANKO, M., MCCORMICK, N. & LAVALLE, C. 2003. Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and urban planning*, 64(3), 145-160.
- BARREDO, J., DEMICHELI, L., LAVALLE, C., KASANKO, M. & MCCORMICK, N. 2004. Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria. *191 Environment and Planning B*, 31(1), 65-84.
- CATALÁ, R., BOSQUE SENDRA, J. & PLATA ROCHA, W. 2008. Análisis de posibles errores en la base de datos Corine Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid Estudios Geográficos, LXIX, 264, enero-junio, 81-104, 2008.
- COMBER, A. 2008. Land Cover or Land Use? *Journal of Land Use Science*, 3(4): 199-201.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE. 2011. *Medio siglo de cambios en la evolución de los usos del suelo en Andalucía (1956-2007)*, Sevilla, Junta de Andalucía, 174 pp.
- CUSTODIO, E., MANZANO, M., MONTES, C. *et al.* 2008. Perspectiva general del papel y gestión de las aguas subterráneas en el Área de Doñana, Sudoeste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1): 81-92. ISSN: 0366-0176
- CHAMBERS, R. 1992. Rural appraisal: rapid, real and participatory. IDS, Brighton.
- DÍAZ-PACHECO, J. & GUTIÉRREZ, J. 2013. Exploring the limitations of CORINE Land Cover for monitoring urban land-use dynamics in metropolitan areas, *Journal of Land Use Science*, DOI:10.1080/1747423X.2012.761736.
- EME. 2011. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio rural y Marino.
- EEA. 2007. Urban sprawl in Europe - the ignored challenge. EEA Informe N° 10/2006. http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_10.
- ELLIS, E. 2010. The Encyclopedia on Earth, Land-use. Retrieved from <http://www.eoearth.org/view/article/154142>.
- FAO. 1997. The Future of Our Land Facing the Challenge. Guidelines for Integrated Planning for Sustainable Management of Land Resources. Rome, FAO. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/x3810E/x3810e00.pdf>
- FELICÍSIMO, A.M., SÁNCHEZ GAGO, L.M. 2002. Thematic and spatial accuracy: a comparison of the Corine Land Cover with the Forestry Map of Spain. 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma, España, del 25 al 27 de Abril de 2002.
- FERANEC J., JAFFRAIN G., SOUKUP T. & HAZEU G. 2010. Determining changes and flows in European landscapes 1990-2000 using CORINE land cover data. *Applied Geography*, 30 (1), pp. 19-35.
- FISCHER-KOWALSKI, M. 1997. Society's Metabolism, on the childhood and adolescence of a rising conceptual star. In: Redclift, M. and Woodgate, G. (Eds.), *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham, Northampton, Edward Elgar, pp. 119-137.
- FISCHER-KOWALSKI, M. & WEISZ, H. 1999. Society as Hybrid Between Material and Symbolic Realms, Toward a Theoretical Framework of Society-Nature Interrelation. *Advances in Human Ecology* 8, 215-251.

- GALLEGO, J. 2000. Comparing CORINE Land Cover with a more detailed database in Arezzo, (Italy) agrienv.jrc.ec.europa.eu/publications/pdfs/CLC_ACC_AREZ.pdf.
- HEWITT, R. & ESCOBAR, F. 2011. The territorial dynamics of fast-growing regions: Unsustainable land use change and future policy challenges in Madrid, Spain, *Applied Geography* 31 (2011), 650-667.
- HEWITT, R., HERNÁNDEZ, V. & ESCOBAR, F. 2012. Agentes, escenarios y autómatas celulares; modelización espacial para la toma de decisiones en Doñana y su entorno, full communication, XV Congreso Nacional de Las Tecnologías de Información Geográfica en el contexto del Cambio Global, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, 19-21 September 2012.
- HEWITT, R., VAN DELDEN, H., ESCOBAR, F. 2014. Participatory land use modelling, pathways to an integrated approach, *Environmental Modelling and Software*, 52, 149-165.
- KASANKO, M., J.I., BARREDO, C., LAVALLE, L. PETROV, V., SAGRIS, D., LUDLOW, J., FONS, N., BLANES, O., GOMEZ, H., SAVOLAINEN, A., ROMANOWICZ and edited by Ronan UHEL, 2006. *Urban Sprawl in Europe, The Ignored Challenge*, EEA Report No. 10, ISSN 1725-9177
- KRAUSMANN, F., HABERL, H., SCHULZ, N., KARL-HEINZ, E., DARGE, E. & GAUBE, V. 2003. Land-Use Change and Socioeconomic Metabolism in Austria, Part I: Driving Forces of Land-Use Change 1950-1995. *Land Use Policy* 20(1), 1-20.
- MAUCHA, G. & BÜTTNER, G. 2005. Validation of the European CORINE Land Cover 2000 database. In: Proceedings of the 25th EARSeL Symposium on Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, 6-11 June 2005, Porto, Portugal.
- MOREIRA, J. 2007. 1:25000 scale cartographic series, Junta de Andalucía, REDIAM, Retrieved from: www.juntadeandalucia.es/medioambiente/rediam, September 2011.
- MOREIRA, J. 2011. Digital map data at 1:25000 scale, Junta de Andalucía – Environmental information network website; accessed September 2011.
- MONTES, C. 2007. Construir resiliencia para Doñana en un mundo cambiante. *Revista de Sostenibilidad* 35: 14-15.
- MONTES, C. y SALA, O. 2007. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas* 16 (3): 137-147.
- MUÑOZ-REINOSO, J.C. 2001. Vegetation changes and groundwater abstraction in SW Doñana, Spain, *Journal of Hydrology*, 242-3, 197-209.
- OJEDA, J. & VILLAR, A. 2006. Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía (España): 1988-2002, *Geo-Focus*, 7, 73-99.
- PAEGELOW, M., CAMACHO, M.T. (coord.), 2008. *Modelling Environmental Dynamics. Advances in geomatic solutions*. Springer, series: Environmental Science and Engineering, 390 pp.
- PALOMO, I., MARTÍN-LOPEZ, B., LÓPEZ-SANTIAGO, C., MONTES, C. 2012. El Sistema Socio-ecológico de Doñana ante el Cambio Global: Planificación de Escenarios de Eco-futuro. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid.
- PETRIȘOR, A., GRIGOROVȘCHI, M., MEIȚA, V. & SIMION-MELINTE, P. 2010. Long-term environmental changes analysis using Corine data, *Environmental Engineering and Management Journal*, retrieved from http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/accepted/26_184_Petrisor_11.pdf.
- PONTIUS, G., SHUSAS, J. & MCEACHERN, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101 (2004) 251-268.
- PONTIUS, R., MALANSON, J. 2005. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographic Information Sciences*, 19 (2), 243-265.
- PONTIUS, R. & MILLONES, M. 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*. 32 (15), 4407-4429.
- PONTIUS Jr., R., HUFFAKER, D., DENMAN, K. 2004. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecol. Model.* 179, 445e461.
- RIKS B.V. 2011. Documentación Metronamica. De: <http://www.riks.nl/resources/documentation/Metronamica%20documentation.pdf>, Marzo 2012.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

- SCHIRMER, J., WILLIAMS, K., BORSCHMANN, P. & DUNN, C. 2008. Living with land use change: different views and perspectives.
- SPESP. 2000. Study Programme on European Spatial Planning (SPESP). Final Report, 31 March 2000 (www.nordregio.a.se).
- TURNER, B., CLARK, W., KATES, R., RICHARDS, J., MATHEWS, J., MEYER, W. 1990. *The Earth as Transformed by Human Action, Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge, Cambridge University Press.
- VALERA, A., AÑÓ, C., SÁNCHEZ, J. 2011. Cambios en los usos y coberturas del suelo en el municipio de Elx (1956-2005), *Estudios Geográficos*, Vol LXXII, 681-703.
- VAN VLIET, J., BREGT, A., HAGEN-ZANKER, A. 2011. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling*, 222 (8), 1367e1375.
- VELDKAMP, A. & VERBURG, P. 2004. Modelling Land Use Change and Environmental Impact, *Journal of Environmental Management*, 72(1/2)a-4.
- VILLASANTE, T., MONTAÑES, M., MARTÍ, J. (Eds) 2000. La investigación social participativa: construyendo ciudadanía. El Viejo Topo, Cataluña.
- WHITE, R. 1974. Sketches of a dynamic central place theory. *Economic Geography*, 50(3), 219-227.
- WHITE, R. 1977. Dynamic central place theory: results of a simulation approach. *Geographical Analysis*, 9(3), 226-243.
- WHITE, R. 1978. The Simulation of Central Place Dynamics: Two Sector - Systems and the Rank-Size Distribution. *Geographical Analysis*, 10(2), 201-208.
- WHITE, R. & ENGELEN, G. 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8), 1175-1199.

