

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Escenarios de futuro en un Espacio Natural Protegido

Autor: Paloma Fernández Sañudo

Institución: Comunidad de Madrid e-mail: palomafs@bio.ucm.es

Otros Autores: María José Roldán Martín)Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid); Miguel Vía García (Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid)



RESUMEN

Los Espacios Naturales Protegidos (ENPs), generalmente, aparecen en el territorio como islas de conservación de los recursos naturales y paisajísticos de una región. El mantenimiento de dichos valores a largo plazo no está asegurado si no se hace de manera integrada con el resto del territorio circundante. En el estudio que aquí se presenta se comparan los resultados obtenidos en trabajos previos en los que se analizaban las principales dinámicas de cambio de uso detectadas en el Parque Regional del Sureste a lo largo del tiempo. El trabajo no sólo analiza el área protegida por el propio espacio natural sino también un área circundante entorno a su propio perímetro. Esto permite estudiar y detectar diferencias dentro y fuera. También se establece un modelo que permite predecir posibles cambios en el paisaje a medio y largo plazo en función de variaciones en las variables tanto de tipo natural como socioeconómicas y su reflejo en el territorio. Para ello se utilizan modelos de simulación dinámica basados en Cadenas de Markov y Autómatas Celulares. Estos resultados permiten observar como variaciones en determinadas variables pueden afectar de distinto modo al territorio y cuales podrían ser las consecuencias sobre el medio natural. Estos resultados se presentan como una herramienta eficaz en la toma de decisiones por parte de las distintas partes implicadas en la gestión del medio natural. A su vez estudios de este tipo permiten analizar la evolución y eficacia de la protección del medio natural mediante la declaración de ENPs.

Palabras Clave: Dinámicas territoriales, usos del suelo, escenarios de cambio, conservación de la naturaleza, Madrid



1. INTRODUCCIÓN

Las características ambientales del territorio condicionan los recursos disponibles para el aprovechamiento humano, que es diverso y dinámico, adaptándose, no sólo a las condiciones ambientales sino, también a las necesidades socioeconómicas. A su vez, la intervención humana modifica el entorno generando nuevas condiciones ambientales (García Novo, 1999; Gómez Sal y Nicolau, 1999). De este binomio territorio-aprovechamiento, el segundo componente es más dinámico según evolucionen las directrices del mercado, los movimientos de la población y la forma en que el hombre percibe y valora el medio. En cualquier caso, las dinámicas socioeconómicas repercuten en usos y aprovechamientos del territorio. Por lo tanto, el análisis de las dinámicas socioeconómicas y su relación con las dinámicas territoriales debe incorporarse en los análisis territoriales, así como, en su posterior planificación y gestión.

Es evidente el papel que tienen en la región mediterránea las interrelaciones entre el medio natural y el socioeconómico sobre el mantenimiento de los ecosistemas (Bunce et al., 2001). En este caso, la Comunidad de Madrid, posee unas características naturales que han dado como resultado una gran diversidad de ecosistemas y tipos de uso del suelo. En ella viven más de 6 millones de habitantes que aprovechan y demandan esta variada oferta ambiental. El sector servicios es dominante en esta región, donde la demanda de suelo urbano y urbanizable es constante debido, en gran medida, al peso de la propia ciudad de Madrid (OSE, 2006).

La simulación de lo que ocurrirá en un futuro en un territorio concreto, en términos de frecuencia y distribución de los usos del suelo, como consecuencia de los planes y políticas vigentes resulta de particular interés a la hora de planificar y gestionar ese territorio (Barredo *et al.*, 2004). En este sentido la simulación de escenarios de cambio ha ido ganando importancia a la hora de hacer previsiones acerca de la distribución espacial de usos del suelo de acuerdo a los procesos naturales, la dinámica socioeconómica y una serie de condicionantes relacionados con la planificación territorial (Gómez Sal *et al.*, 2003).

Entre 2007 y 2008 se llevó a cabo un estudio en el Parque Regional entorno a los ejes de los Cursos Bajos de los ríos Manzanares y Jarama, más conocido como Parque Regional del Sureste (PRS), y su Área de Influencia, generada como un buffer de 2 km en torno a su perímetro, que permitió constatar los principales cambios territoriales y socioeconómicos ocurridos en el Parque, desde su declaración en 1994 hasta el año 2004 (de las Heras *et al.*, 2008); las diferencias en esos cambios en el PRS y su Área de Influencia (Roldán Martín *et al.*, 2009); su relación con las dinámicas socioeconómicas acontecidas en los municipios que incluye el Parque (Roldán Martín *et al.*, 2008) y su posible evolución futura (Fernández-Sañudo *et al.*, 2009).



Tradicionalmente, el territorio del PRS ha sido aprovechado de manera agrícola y, más recientemente, como zona de expansión de los habitantes de Madrid y su entorno metropolitano. Los municipios del PRS no han perdido población a diferencia de otras zonas agrícolas de la Comunidad de Madrid, no obstante, la actividad agrícola ha perdido cierta importancia sustituida por la actividad en el sector terciario, lo que ha supuesto toda una modificación de los usos y aprovechamientos de este territorio.

Desde el punto de vista territorial, únicamente en el 9,05% de la superficie del PRS se ha producido algún cambio en la vegetación y usos del suelo. Muy diferente es lo que ocurre en su Área de Influencia, donde el porcentaje de superficie que ha cambiado, en el mismo periodo, asciende al 17,96%.

Los diferentes cambios se simplificaron en 10 dinámicas territoriales tanto en el PRS como en su Área de Influencia (de las Heras et al., 2008): Urbanización (URB) si el destino final es la utilización urbana de la superficie afectada. Incluye el desarrollo de zonas industriales y comerciales y el crecimiento urbanístico; Nuevas infraestructuras lineales (NINF) para el desarrollo de la red de carreteras; Cese de actividad y restauración (CAR) en el caso de la finalización de actividad extractiva o cierre de vertedero y posterior restauración mediante actuaciones agrícolas y/o repoblaciones con distintas especies; Cese de actividad y abandono (CAA) si tras la finalización de una actividad extractiva o cierre de vertedero no hay tareas de restauración; Nueva actividad (NA) si bien se desarrolla o se amplia una nueva actividad extractiva o vertedero, o si se reabre una de las ya existentes, en zonas antes ocupadas por cultivos, vegetación arbórea, pastos y matorrales; Repoblación (REP) en el caso de desarrollo de masa arbórea mediante tareas de reforestación con distintas especies; Abandono de actividades agrícolas (ABDO) con desarrollo de matorral y pastizales; Puesta en cultivo (PC) si se han desarrollado nuevas áreas agrícolas; Desarrollo de humedal artificial y vegetación asociada (HAVA) si se generan nuevas láminas de agua consecuencia de las actividades extractivas con desarrollo de la vegetación de ribera asociada; y, por último, Avance natural de la vegetación (ANV) en el caso de la evolución natural de las masas de vegetación herbáceas y arbóreo-arbustivas.

En el PRS se observó un importante abandono de las prácticas agrarias y numerosos cambios incluidos en las dinámicas asociadas a las actividades extractivas. Éstas, en su mayoría suponen una notable presión sobre el medio natural, excepto la restauración de actividades extractivas finalizadas y el desarrollo de humedales artificiales y su vegetación asociada de notable interés para determinadas especies de flora y fauna (BOCM, 1991; DOCE, 1992; Comunidad de Madrid, 2005).

Se observó, como el Área de Influencia estaba mucho más deteriorada desde el punto de vista natural, con un gran desarrollo del uso *Urbano* y de las *Infraestructuras viarias* y un notable *Abandono de las actividades agrarias*. Ésta última dinámica también tenía lugar en el interior del PRS.



Desde el punto de vista socioeconómico, el análisis realizado a escala municipal reveló un notable dinamismo para el conjunto del territorio caracterizado por su crecimiento socioeconómico. Este crecimiento se traduce, en términos generales, en un aumento de la población y del poder adquisitivo, en un cambio de su ocupación del sector primario al terciario, principalmente y, a su vez, en un incremento del suelo urbano y urbanizable. Se observó, también, que los municipios más cercanos a la ciudad de Madrid se encuentran más desarrollados socioeconómicamente que los situados más lejos que mantienen un carácter más rural y un desarrollo más lento.

Si bien este crecimiento socioeconómico es común para todos los municipios, no es igual en todos ellos. En 1994 se estableció una tipología municipal en función de las principales tendencias socioeconómicas. Así, se definieron cinco tipos de municipios: Industriales, Agrarios, Desarrollo Socioeconómico/Agrario, Transición Agrario/Urbano y Servicios. Esta tipología se mantuvo, en términos generales, en 2004 aunque los municipios presentaron distintas variaciones en los valores de las variables que definen cada tipo. Esto hace que fuera posible establecer dinámicas socioeconómicas en los diez años considerados.

Así, se definieron tres tipos de dinámicas socioeconómicas. La primera se caracteriza por un aumento del suelo urbanizable y urbano, la segunda por un desarrollo del sector industrial sin crecimiento de la población y por último, la tercera se caracteriza por un aumento de la población y del poder adquisitivo, un aumento del sector terciario y del suelo urbano (de las Heras *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es establecer posibles escenarios de futuro, a corto y medio plazo, que permitan prever el efecto de determinadas acciones sobre el medio natural, -tanto cambios en la estructura territorial como en la socioeconómica-, de forma que sirvan de herramienta útil para los gestores de estas áreas protegidas en la toma de decisiones.

La gestión no se debe limitar a la designación legal de unos ENP o la regularización de ciertas actividades. En este sentido es necesario conocer el comportamiento de los sistemas que están siendo manejados, sus respuestas a las actividades de gestión y sus tendencias de evolución a medio y largo plazo.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El PRS se encuentra situado a escasos kilómetros de la ciudad de Madrid, en el sureste de su área metropolitana, siendo su enclave central, la confluencia de los ríos Jarama y Manzanares (Figura 1).

Se trata de un espacio protegido en 1994 (BOCM, 1994) que abarca una extensión de 31.550 ha y 16 municipios (Comunidad de Madrid, 2005). Su declaración responde a la importancia de este territorio en el contexto de la Comunidad de Madrid



como un área cuya calidad ambiental está definida por los contrastes que suponen la coexistencia de zonas de alto valor ecológico, paleontológico y arqueológico y la degradación producida por la actividad industrial, la inadecuada explotación de los recursos y factores derivados de su carácter periurbano.

La estructura física del medio está definida por el relieve y los cursos de agua superficial que lo surcan y modelan. El río Jarama discurre de norte a sur, flanqueado por numerosos cortados compuestos por yesos y margas yesíferas y, en menor extensión por calizas del páramo al este del Parque. Sus principales afluentes en la margen izquierda son el Henares y el Tajuña, mientras que por la margen derecha recibe al Manzanares.

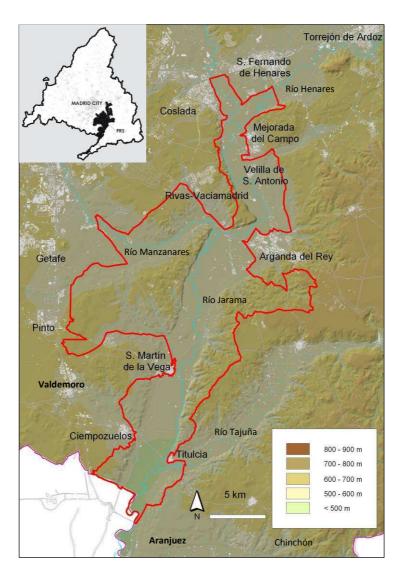


Figura 1. Localización del PRS en el contexto de la Comunidad de Madrid. Se indican las principales poblaciones y el modelo digital del terreno.



Las características litológicas, edafológicas y climáticas favorecen el desarrollo de una vegetación asociada de gran relevancia por su distribución y composición florística consecuencia, principalmente, de la existencia de suelos yesíferos y margas yesíferas de numerosos cortados y cuestas. La distribución de la vegetación presenta un complejo entramado de mezclas y mosaicos muy acusado por el uso ganadero y agrícola del territorio. Asociada a la vegetación aparecen diferentes especies de fauna de especial interés como la avutarda (*Otis tarda*), el cernícalo primilla (*Falco naumanni*), el sapillo moteado (*Pelodytes punctatus*), el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), el murciélago enano (*Pipistrelus pipistrelus*), la nutria (*Lutra lutra*), escarabajos (*Plagionotus marcorum*) y numerosas especies de lepidópteros (Gómez de Aizpurúa *et al.*, 1999), entre otras.

3. METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico utilizado consiste en un conjunto técnicas que se describen con detalle a continuación.

3.1 MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

A partir de la cartografía de usos y formaciones vegetales elaborado para el PRS se realizó una síntesis de los tipos identificados para facilitar el estudio de su evolución en el tiempo. Se elaboraron dos mapas de usos del suelo y vegetación. El primero, refleja la situación en el momento de su declaración (1994), mientras que el segundo refleja la situación en 2004. Se utilizaron las fotografías aéreas, ortofotos y mapas de vegetación disponibles más próximos a 1994 y al año 2004. El resultado fueron dos mapas de vegetación para los años 1994 y 2004 cuyas leyendas incluyen 17 tipos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción, superficie y porcentaje de los 17 usos seleccionados en el análisis en los dos periodos de tiempo analizados (1994 y 2004).

	Superficie 1994		Superficie 2004	
usos	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Zona urbanizada (URBN)	6.166,84	9,92	8.595,80	13,82
Infraestructura lineal (INFR)	274,55	0,44	1.249,91	2,01
Actividades extractivas y vertederos (EXTR)	2.640,67	4,25	2.725,76	4,38
Lámina de agua (LAGU)	427,11	0,69	500,37	0,80
Cursos de agua (RIOS)	371,86	0,60	359,41	0,58
Cultivos agrícolas (CLTV)	31.484,23	50,63	26.454,74	42,55



Pastizal y erial (PAST)	3.302,77	5,31	4.028,31	6,48
Atochar (ATCH)	2.519,12	4,05	2.409,21	3,87
Vegetación de ribera (VRIB)	1.389,09	2,23	1.365,86	2,20
Retamar (RETM)	4.053,05	6,52	4.883,70	7,85
Coscojar (CSCJ)	2.645,16	4,25	2.634,89	4,24
Jaral, Cantuesar, tomillar y otras especies de pequeña talla (JACT)	3.653,88	5,88	3.463,04	5,57
Matorral gipsícola (GIPS)	195,46	0,31	131,85	0,21
Encinar y Encinar adehesado (ENCN)	625,63	1,01	608,29	0,98
Tarayal (TARY)	132,45	0,21	149,79	0,24
Frondosas y Plantación de frondosas (FRND)	210,98	0,34	402,86	0,65
Vegetación arbórea de coníferas (PINR)	2.089,50	3,36	2.213,90	3,56

3.2 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

La simulación de escenarios permite analizar la influencia de factores naturales y socioeconómicos en el cambio de los usos y aprovechamientos de los recursos y hacer proyecciones a futuro (Prieler et al., 1998). Para ello se sigue un procedimiento que combina una serie de técnicas estadísticas y cartográficas que permiten generar nuevas distribuciones espaciales de los usos del suelo en función de 3 factores: 1) una probabilidad conocida de cambio de cada uso; 2) una serie de parámetros que matizan la aptitud con que un uso se convierte en otro y 3) el contexto de vecindad en que se encuentra cada tesela de cada uso. La Figura 2 resume este procedimiento.

Las dinámicas territoriales en el Parque Regional y en su Área de Influencia son muy diferentes. El abandono agrario y las dinámicas relacionadas con las actividades extractivas dominan los cambios observados en el Parque. Por el contrario, en el Área de Influencia dominan la urbanización, el desarrollo de Infraestructuras viarias y el abandono agrario. Si se considera el Parque y su Área de Influencia como un único territorio sobre el que calcular las probabilidades de cambio de uso, las diferencias en estas probabilidades en función de donde estén los usos quedarán enmascaradas. Por este motivo, se ha considerado adecuado llevar a cabo la simulación de escenarios futuros de manera independiente en el Parque y en su Área de Influencia. De manera que, cada paso del procedimiento de simulación de escenarios se hará dos veces, una para el ENP y otra para su Área de Influencia.



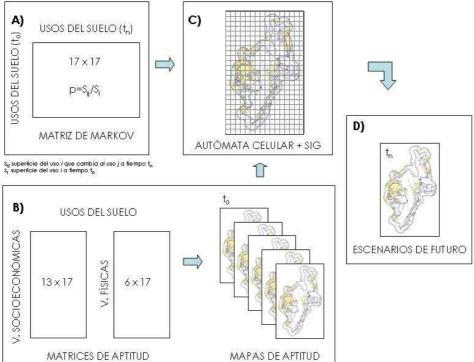


Figura 2. Metodología empleada para simular escenarios de cambio de usos del suelo. A partir de la síntesis del mapa de vegetación y usos del suelo de 2004 en 17 usos, se estimó la probabilidad con la que un uso se conserva o transforma en los restantes. Esta estimación se realizó a partir de las tasas de cambio de los usos calculadas entre 1994 y 2004, aplicando cadenas de Markov. De esta manera, se generó una matriz de Markov de 17 x 17 usos, para el periodo de tiempo sobre el que se quiere hacer la proyección, en este caso, 10 años (A). Por otro lado, se estimó la aptitud de cada uno de los usos y unidades de vegetación, para transformarse en todos los demás. Esta aptitud se estimó en función de una serie de variables socioeconómicas y físicas. Se generó así un conjunto de matrices de aptitud (una por cada uso y cada variable) que dieron lugar a los correspondientes mapas de aptitud (B). La información contenida en la matriz de Markov y en las matrices de aptitud se incorporó a un SIG que permitió aplicar los autómatas celulares (C) para generar escenarios de cambio en periodos de 10 años (D) bajo tres hipótesis distintas.

3.2.1 Probabilidad de cambio de cada uso

Mediante la superposición de los mapas de vegetación y usos del suelo de 1994 y 2004, se obtiene un nuevo mapa en el que cada polígono recoge el uso del suelo observado en 1994 y el observado en 2004, de manera que se cruza la información de ambos años. A partir de la información aportada por este mapa de cambios y empleando el Análisis de Cadenas de Markov (Van Hulst, 1979), se genera una matriz de usos x usos cuyos elementos son la probabilidad con el que el uso *i* a tiempo *t0* se transforma en el uso *j* o se conserva a tiempo *t1*.



Esta probabilidad de cambio p se calcula como:

$$p=Sij/Si$$
 (1)

donde Sij es la superficie en hectáreas del uso i en t0 (1994) que se transforma en el uso j en t1(2004) y Si es la superficie en hectáreas del uso i en t0 (1994).

La matriz de usos x usos que recoge todas estas probabilidades se denomina Matriz de probabilidad de transiciones. Esta matriz se emplea para estimar una nueva distribución de frecuencias de usos en un nuevo tiempo t2 a partir de las frecuencias de cada uso a tiempo t1 (Aaviksoo, 1993; Li, 1995; Romero-Calcerrada & Perry, 2004). Esta estimación se realiza mediante el producto de un vector de frecuencias de los usos a tiempo t1 por dicha matriz. Esta distribución de frecuencias de los usos del suelo a tiempo t2 se expresa en una matriz de áreas de transición.

Es importante tener en cuenta que este tipo de modelo de transición es estacionario, es decir, la probabilidad de cambio de cada uso no varía a lo largo del tiempo. Si bien es probable que, en la mayoría de los casos, las probabilidades de cambio no se conserven a lo largo del tiempo, algunos autores como Romero-Calcerrada & Perry (2004) consideran que esta aproximación es válida para explorar dinámicas territoriales.

De esta manera, se conoce la probabilidad de cambio de cada uso y la nueva frecuencia o superficie que ocupará cada uso a tiempo *t2* pero se desconoce qué lugares va a ocupar o, lo que es lo mismo, su distribución espacial.

3.2.2. Matrices y mapas de aptitud

La distribución espacial de los usos del suelo a tiempo t2 va a depender de la localización de cada polígono de origen en t1 en dos sentidos. Por un lado, la localización de cada polígono va a determinar la aptitud de ese lugar para que se produzca uno u otro cambio, en función de las características naturales y socioeconómicas de ese punto y por otra parte, va a depender de los usos que constituyen su vecindad.

Por este motivo, es necesario que previamente, se estudien y seleccionen aquellas variables que influyen en la evolución temporal de cada uno de los usos. A partir de estas variables se elaboran las matrices de aptitud para cada tipo de uso en función de dichas variables. Cada matriz recoge la aptitud de un determinado uso de transformarse en otro. Una vez obtenidas las matrices de aptitud se generan los mapas de aptitud que son la representación cartográfica de los valores recogidos en dichas matrices.

Se han seleccionado distintos tipos de variables con objeto de incorporar diferentes aspectos que intervienen en el cambio de los usos del suelo. Por un lado, se han considerado variables físicas (fisiografía, pendiente, tipo de suelo, litología y erosionabilidad) para asignar un valor de aptitud para cada uso del suelo o formaciones vegetales en función de las condiciones concretas que requieren para su desarrollo. Por



otro lado, se ha considerado incorporar factores ligados al desarrollo de algunos usos ya que su presencia condiciona su expansión. Es el caso de los usos urbanos y las infraestructuras lineales. La existencia de una carretera favorece la expansión de un núcleo de población. De manera que se ha considerado la distancia a infraestructuras lineales una variable que modifica la aptitud de cualquier punto del territorio para transformarse en suelo urbano. Se genera así, un mapa de aptitud para transformase en uso urbano, según la distancia a carreteras. Se ha incluido también, el planeamiento del suelo de manera que se ha evaluado la aptitud de cada una de las clases de suelo (urbano, urbanizable, no urbanizable y sistemas generales) para albergar cada uno de los usos del suelo.

Por último, se han incorporado al trabajo una serie de variables socioeconómicas (Tabla 2). Estas variables están referidas al total del municipio, sin referencia espacial, de manera que no es posible generar un mapa de aptitud convencional sino un mapa de aptitud de los usos en función de las características socioeconómicas de los municipios en que se encuentran. Se genera así, para cada uso del suelo, un mapa de aptitud para transformarse en los demás, según un conjunto de variables socioeconómicas.

Para la caracterización socioeconómica, primero se seleccionaron del conjunto de variables disponibles recopiladas en de las Heras et al., 2008, aquéllas que tuvieran más importancia en las dinámicas socioeconómicas estudiadas entre 1994 y 2004 (Tabla 2). De entre ellas se buscaron las que estuvieran más relacionadas con cada uso en concreto (Tabla 3). Por ejemplo, el crecimiento relativo de la población es una de las variables con más peso en la evolución socioeconómica de los municipios incluidos en el PRS y de entre los 17 usos considerados, está más directamente relacionado con el uso urbano y con las infraestructuras lineales. Otro ejemplo es la población ocupada en el sector agrario, íntimamente relacionada con la superficie dedicada a cultivos, por poner algún ejemplo.

Tabla 2. Listado de las variables socioeconómicas utilizadas en el análisis.

Variable	Acrónimo
Crecimiento relativo	CRECREL
Ocupados agrarios/nº ocupados	OCUAGR
Paro agrícola	PARAGRIC
Superficie agraria (ha)	SUPHA
Superficie agraria con tierras labradas	TIELAB
Superficie agraria con pastos permanentes	PASPER
Superficie agraria con especies arbóreas forestales	SPARF
Unidades Ganaderas de Bovino	UGBOV
Unidades Ganaderas de Ovino	UGOVIN
Unidades Ganaderas Totales	UGAS
Suelo Urbano	URBANO
Suelo Urbanizable	UBBLE
Suelo especial protegido	SUESPR



Tabla 3. Relación de usos del suelo para los que se ha considerado alguna variable socioeconómica en el análisis.

Tipo de Uso	Variables socioeconómicas
	CRECREL
Zonas urbanizadas	URBANO
	UBBLE
Infraestructuras lineales	CRECREL
	OCUAGR
Cultivos agrícolas	TIELAB
	SUPHA
	PARAGRIC
	OCUAGR
	PASPER
Pastizal y erial	UGBOV
	UGOVIN
	UGAS
Atochar	SUESPR
Vegetación de ribera	SUESPR
Retamar	UBBLE
Coscojar	SUESPR
Jaral, cantuesar	SUESPR
Matorral gipsícola	SUESPR
	SUESPR
Encinar y encinar adehesado	SPARF
Tarayal	SUESPR
Foundation	SUESPR
Frondosas	SPARF
Discours	SUESPR
Pinares	SPARF



Para el análisis de estas variables socioeconómicas se han utilizando las series temporales más largas de que se disponen en cada caso. Para su cuantificación se ha calculado la tasa de cambio (Tc) definida como:

$$Tc = (Vt-V0)/V0$$
 (2)

Siendo *V0* el valor de la variable en el tiempo inicial *t0* y *Vt* el valor de la variable en el momento actual, *t1*.

Una vez obtenido el valor de la tasa de cambio de cada variable para cada uno de los 13 municipios incluidos en el área de estudio, se consideró la aptitud de cada uno de los usos de acuerdo a cada una de las variables que se consideró le afectaba (Tabla 3).

La aptitud del uso i para transformarse en el uso j, según la variable V, se estableció asignado un rango de valores a cada caso empleando el método Ntiles (SPSS, 2006). Se asigna a cada caso el grupo al que pertenece en el rango de 1 a k. De este modo cada variable queda dividida en cinco grupos (k): aptitud muy baja, baja, media, alta y muy alta.

En el caso de que un uso se vea afectado por más de una variable socioeconómica se suman los valores de cada variable y se establecen dichos rangos (Tabla 4).

Tabla 4. Ejemplo de la asignación de valores de aptitud al uso urbano para los municipios considerados. El uso urbano se ve afectado, principalmente, por las variables: crecimiento relativo de la población (CRECREL), la variación del suelo urbanizable (UBBLE) y el aumento del suelo urbano (URBANO). Para cada una de estas variables se muestra su tasa de cambio (Tc), el rango de aptitud asignado en una escala de 1 a 5: (1) aptitud muy baja; (2) aptitud baja; (3) aptitud media; (4) aptitud alta y (5) aptitud muy alta. La integración de estos valores en un único valor de aptitud se estima sumando los valores de aptitud para cada una de las variables (Suma) y se asigna un nuevo rango con la misma escala.

	CRECREL		UBE	BLE	URBANO		Total	
	Тс	Aptiud	Tc	Aptiud	Тс	Aptiud	Suma	Aptiud
Aranjuez	0.006	1	0.48	2	0.00	1	4	1
Arganda del Rey	0.026	3	1.76	2	0.00	1	6	3
Chinchón	0.010	2	0.00	1	1.56	2	5	2
Ciempozuelos	0.027	3	7.86	4	0.00	1	8	4
Getafe	0.011	2	-0.02	1	9.39	5	8	4
Mejorada del Campo	0.029	3	0.95	2	7.15	4	9	4
Pinto	0.032	3	1.42	2	4.64	3	8	4
Rivas-Vaciamadrid	0.110	5	3.49	3	1.15	2	10	5
San Fernando de Henares	0.028	3	2.98	3	0.00	1	7	3
San Martín de la Vega	0.054	4	20.32	5	0.27	2	11	5
Titulcia	0.006	1	2.94	3	0.00	1	5	2



Valdemoro	0.061	4	3.54	3	2.60	3	10	5
Velilla de San Antonio	0.096	5	-0.01	1	6.05	4	10	5

Además de las variables de distinto tipo que influyen en la aptitud de los usos para transformarse en otros, se ha incluido en el modelo una serie de restricciones aplicadas a todos los usos. Estas restricciones han sido tres: localización en montes de utilidad pública; situación en el interior del ENP o su Área de Influencia; y su ubicación según zonificación en el PRS. Por ejemplo, la conservación de un atochar estará favorecida por encontrase dentro del propio espacio protegido y es, además, dependiente del grado de protección según su zonificación. Se genera así, para cada uso del suelo, un mapa de restricciones para transformase en los demás.

Una vez calculada la aptitud de cada uso en relación a cada una de las variables físicas y socioeconómicas anteriormente descritas, es necesario integrar todos estos valores en un único valor de aptitud para cada uso. Este valor de aptitud se calcula como el producto entre la media ponderada de los valores de aptitud según variables físicas y socioeconómicas y el conjunto de restricciones. La ecuación 3 muestra un ejemplo de esta integración para el caso del uso urbano.

$$Au = (((0.3*Car) + (0.25*Plan) + (0.075*Muni) + (0.075*Edaf) + (0.075*Lito) + (0.075*Fisio) + (0.075*Ero) + (0.075*Pend))/8)*Zona*MUP$$
(3)

Donde *Au* es el valor de aptitud para el uso urbano; *Car* es la aptitud en función a la distancia a carreteras; *Plan* es la aptitud de acuerdo al planeamiento urbanístico. Se han adjudicado unos valores de ponderación más altos a estas dos variables por considerar que las vías de comunicación facilitan el crecimiento urbano y que el planeamiento urbano lo regula; *Muni* es la aptitud en función de las características socioeconómicas del municipio; *Edaf* es la aptitud según el tipo de suelo; *Fisio* es la aptitud en relación a la fisiografía; *Lito* es la aptitud en función de la litología; *Ero* es la aptitud según el grado de erosión y *Pend* según la pendiente del territorio. *Zona* recoge la restricción que imponen la zonificación del Parque y la situación en el Área de Influencia o en el interior del ENP. A aquellas zonas del Parque donde se puede construir (zonas F) y al Área de Influencia se les adjudicó el valor 1 y al resto 0. Por último, la segunda restricción para el uso urbano la impone imposibilidad de urbanizar un terreno situado en un Monte de Utilidad Pública, *MUP*, (valor 0). Todos los datos fueron normalizados a una misma escala de trabajo y se genera un único mapa de aptitud en formato raster, para cada tipo de uso.

3.2.3. Contexto de vecindad en que se encuentra cada polígono de cada uso: Autómatas Celulares

Una vez estimada la probabilidad de cambio de cada uso (matriz de probabilidades de transición) y aquellos parámetros que matizan la aptitud con que un uso se convierte en otro (mapas de aptitud) queda incorporar las condiciones que genera el contexto de vecindad en que se encuentra cada polígono de cada uso en el modelo de simulación de cambios de usos. Para ello se utilizan Autómatas Celulares (AC) (White et



al., 1999), que aunque usan reglas sencillas, son capaces de generar estructuras con un comportamiento complejo. Integrados en un SIG, se convierten en una importante herramienta para la planificación capaz de generar escenarios bastante realistas que integran datos ambientales y socioeconómicos, así como condicionantes políticos en la simulación de escenarios (Ward et al., 2000; Yeh & Li, 2002). Por estas razones, se han empleado en trabajos cuyo objetivo es simular las dinámicas territoriales y, en especial, el crecimiento urbanístico (Deadman et al., 1993; Batty & Xie, 1997; 1997; Couclelis, 1997; White & Engelen, 1997; Wu & Webster, 1998; Li & Yeh, 2000; Barredo et al., 2003; Berling-Wolf & Wu, 2004).

En el presente AC se ha empleado una malla de 1.761 filas por 1.071 columnas con celdas de 25 x 25 m. Para ello se rasterizaron los mapas vectoriales de vegetación y usos del suelo de 1994 y 2004 usando ArcGIS. Cada celda presenta un estado, es decir, un uso del suelo o unidad de vegetación. De manera que cada celda puede asumir un estado entre 17 posibles. De estos 17 estados, dos se comportan como elementos fijos en el modelo que se ha considerado, es decir, no varían a lo largo del tiempo. Se trata de los ríos y las carreteras. En el caso de las carreteras, el autómata celular no contempla crecimientos lineales sino en todas las direcciones, por lo que el resultado sería irreal.. Que estos elementos fijos, ríos y carreteras, no participen en el modelo como elemento dinámico, no significa que no condicionen el desarrollo de otros usos del suelo, por ejemplo la vegetación de ribera siempre asociada al río.

En cada iteración se aplica a cada celda un conjunto de reglas para determinar su estado en el próximo periodo de tiempo. Las reglas de transición examinan las celdas vecinas y determinan si la celda debe cambiar y en qué sentido (Batty, 1997). La vecindad, es decir, el conjunto de celdas vecinas, se define, bien por la vecindad de Von Neumann (4 celdas adyacentes al norte, sur, este y oeste) o bien, por la vecindad de Moore (estas mismas celdas más las cuatro celdas diagonales) (White & Engelen, 2000). En este trabajo se ha elegido la vecindad de Moore para una ventana de 5 x 5 celdas.

Las reglas de transición definen el cambio de estado de cada celda a aquél para el que tengan mayor potencial. Estas reglas de transición vienen definidas por los mapas de aptitud. El modelo tiene restringido el número de celdas de cada estado a alcanzar, de acuerdo con las premisas introducidas en el modelo y que dependen de las hipótesis de cambio con que se esté trabajando. Este número está fijado por la matriz de áreas de transición de Markov. Las celdas se ordenan en función de su potencialidad para cambiar de estado y se van cambiando siguiendo este orden descendente hasta que se completa el número necesario. La mayoría de las celdas mantendrán su estado actual conservando su uso. El resto modificará su estado teniendo en cuenta los mapas de aptitud y la vecindad.

2.3 HIPÓTESIS DE CAMBIO

En este trabajo se ha optado por utilizar escenarios exploratorios que sigan diferentes tendencias socioeconómicas identificadas previamente, así como, alguna variante que recoja cambios notables en esta tendencia. En el citado trabajo se pudo



constatar que los municipios del área del Parque del Sureste comparten una serie de características generales: un aumento de la población, del suelo urbano y urbanizable y del poder adquisitivo. A su vez, se observa un cambio de actividad desde el sector primario hacia el secundario y, principalmente, al terciario. Sin embargo, estas características se producen de distinta manera según se trate de unos municipios u otros. Esta circunstancia se ha tenido en cuenta en la aplicación de los AC.

El modelo pretende predecir la frecuencia y la distribución espacial de los usos del suelo observados en el Parque Regional del Sureste en un periodo de 10 años, es decir, de 2004 a 2014, bajo 3 posibles escenarios:

ESCENARIO 1º o TENDENCIAL

En este primer escenario se conservan las probabilidades de cambio de acuerdo con la Matriz de Markov obtenida para el periodo 1994-2004. Este escenario pretende reflejar lo que ocurriría en un periodo a 10 años si la tendencia de cambio de cada uno de los 17 tipos de usos analizados se mantuviera, es decir, se aplican las mismas probabilidades de cambio que las obtenidas entre 1994 y 2004.

ESCENARIO 2º o URBANÍSTICO

En este segundo escenario se produce un fuerte crecimiento urbano acompañado de abandono agrícola, es decir, se modifican las probabilidades de cambio, aumentando notablemente aquéllas relacionadas con la expansión urbana (uso i a tiempo t1 pasa a ser urbano a tiempo t2), reduciéndose, como consecuencia, las probabilidades de cambio del resto de usos a otro uso j. Por ejemplo, en el caso de aumentar la probabilidad con que se urbanizan pastizales, se debe disminuir la probabilidad con que los pastizales se conserven.

En este trabajo se ha considerado oportuno diferenciar la tasa de crecimiento urbano aplicable al Parque de la aplicable a su Área de Influencia ya que el proceso urbanizador en el interior del PRS está regulado por sus planes de ordenación y gestión y restringido únicamente a unas zonas. Por este motivo, se ha decidido aplicar un coeficiente de +0.20 a las tasas de crecimiento urbano observadas entre 1994 y 2004 en el ENP y un coeficiente de +0.33 en su Área de Influencia.

Además se ha simulado un incremento en el abandono agrario con respecto al periodo 1994-2004. Para ello se ha decidido aplicar un coeficiente de -0.33 a la tasa de conservación de los cultivos y un coeficiente de +0.33 a la tasa de cambio entre los cultivos y los pastos, únicamente en el Área de Influencia.

ESCENARIO 3º o CONSERVADOR

En este escenario se produciría un crecimiento urbano controlado y se potenciarían las labores destinadas a la recuperación de masas forestales, la permanencia o mejora de la actividad agrícola y la clausura de explotaciones de áridos. Se modifican así las probabilidades de cambio, con el objeto de controlar la expansión urbana y fomentar un desarrollo sostenible de los municipios incluidos en el ENP.



Se ha aplicado un coeficiente de 0.10 para reducir la superficie dedicada a explotaciones de áridos a una décima parte de las observadas en 2004. Se ha aplicado un coeficiente de +0.33 a los cultivos. Se conservan todas las masas forestales de diferentes especies arbóreas y arbustivas. Nuevamente, se ha considerado oportuno diferenciar la tasa de crecimiento urbano aplicable al Parque de la aplicable a su Área de Influencia. Así, se ha decidido no incrementar la superficie urbanizada en el ENP y aplicar un coeficiente de -0.33 a las tasas de crecimiento urbano observadas entre 1994 y 2004 en su Área de Influencia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESCENARIO 1º o TENDENCIAL

4.1.1 Cambios en los usos del suelo

Una vez proyectado el autómata celular a 2014, los resultados muestran que los principales cambios son los mismos que para el periodo 1994-2004, es decir, se observa, principalmente, una pérdida de superficie cultivada (-6.99% en el Parque y -19.58% en el Área de Influencia) y un aumento de superficie urbana (18.24% en el PRS y 25.34% en el Área de Influencia) (Tablas 6, y 7 y Figura 3). Este tipo de tendencias se observan también en diversos trabajos en otras áreas de Europa y EEUU (Ajibefun et al. 2004). La diferente magnitud de los cambios en el interior del Parque y en el Área de Influencia se debe a que la gestión del territorio en el interior del PRS está regulada por sus planes de ordenación y gestión que tratan de promover la actividad agraria en el Parque y restringen el desarrollo urbanístico según unas zonas u otras.

Independientemente de su magnitud, estos cambios tienen graves consecuencias en la conservación de los valores naturales que alberga el PRS ya que se trata de un territorio donde los usos tradicionales han permitido la permanencia de dichos valores tal y como ocurre en otras muchas regiones mediterráneas (Bunce et al. 2001; Roldán Martín et al. 2009). El uso urbano se expande ocupando nuevos territorios desde 1994 hasta 2014, principalmente en el Área de Influencia, en las zonas más próximas a la ciudad de Madrid (municipios de Rivas-Vaciamadrid y San Fernando de Henares) y en las inmediaciones de las autovías A3 (Mejorada del Campo y Arganda del Rey) y A4 y (Getafe, Pinto, Valdemoro, San Martín de la Vega y Ciempozuelos). Este crecimiento urbano se hace a expensas, principalmente, de la superficie agraria de las zonas mencionadas. En el interior del PRS, el crecimiento urbano es limitado y la pérdida de superficie cultivada se debe al proceso de abandono.

No hay que olvidar la notoriedad que tiene la actividad extractiva en el Parque tanto por su extensión como por su importancia socioeconómica y sus efectos sobre el territorio. En este sentido, hay que destacar que, bajo este escenario hipotético, la actividad minera sigue aumentando en el periodo 2004-2014 (Tabla 6). Por lo tanto, es necesario tener en cuenta este posible crecimiento a la hora de gestionar el espacio en el futuro de manera que los impactos negativos se puedan mitigar al máximo.



Tabla 6. Evolución de la superficie, en hectáreas, de los tipos de usos del suelo del territorio desde 1994 hasta 2014 en Parque y en su Área de Influencia, en el escenario tendencial.

	PARQUE			ÁREA DE INFLUENCIA				
	1994	2004	2014	1994	2004	2014		
Urbano	843,38	1.074,81	1.270,81	5.327,44	7.526,06	9.432,94		
Extractivo	1.767,50	2.006,13	2.128,00	871,25	722,13	602,13		
Láminas de agua	425,00	499,13	552,86	1,31	0,88	1,50		
Cultivos	15.644,31	14.440,06	13.430,06	15.844,06	12.018,75	9.665,63		
Pastizales	1.495,19	1.541,06	1.590,36	1.807,06	2.485,31	2.859,06		
Atochares	1.168,31	1.159,56	1.156,44	1.345,50	1.245,94	1.159,06		
Veg. Ribera	1.244,69	1.246,69	1.246,69	142,94	118,19	97,56		
Retamares	1.821,19	2.365,31	2.735,75	2,230,94	2.513,94	2.660,19		
Coscojares	2.120,13	2.114,50	2.108,25	526,81	521,06	515,44		
Jarales	2.221,38	2.119,94	2.027,75	1.434,13	1.346,31	1.340,06		
Mat. Gipsícola	74,31	13,88	8,44	121,13	117,44	117,44		
Encinares	119,63	118,63	118,00	505,5	489,19	489,19		
Tarayales	131,81	149,44	169,44	0,06	0,06	0,06		
Frondosas	170,25	362,13	572,75	40,44	40,44	40,44		
Pinares	1.855,19	1.812,75	1.908,36	233,75	402,63	567,63		

Tabla 7. Tasas de cambio de los tipos de usos del suelo en relación a la superficie de partida en los periodos 1994-2004 y 2004-2014, en el Parque y en su Área de Influencia, en el escenario tendencial. En rojo se indican las tasas de cambio negativas.

	PAR	QUE	ÁREA DE I	NFLUENCIA
-	94-04	04-14	94-04	04-14
Urbano	27,44	18,24	41,27	25,34
Extractivo	13,50	6,07	-17,12	-16,62
Láminas de agua	17,44	10,77	-32,82	70,45
Cultivos	-7,70	-6,99	-24,14	-19,58
Pastizales	3,07	3,20	37,53	15,04
Atochares	-0,75	-0,27	-7,40	-6,97
Veg. Ribera	0,16	0,00	-17,31	-17,45



Retamares	29,88	15,66	12,69	5,82
Coscojares	-0,27	-0,30	-1,09	-1,08
Jarales	-4,57	-4,35	-6,12	-0,46
Mat. Gipsícola	-81,32	-39,21	-3,05	0,00
Encinares	-0,84	-0,53	-3,23	0,00
Tarayales	13,38	13,38	0,00	4,17
Frondosas	112,70	58,16	0,00	-0,01
Pinares	-2,29	5,28	72,25	40,98

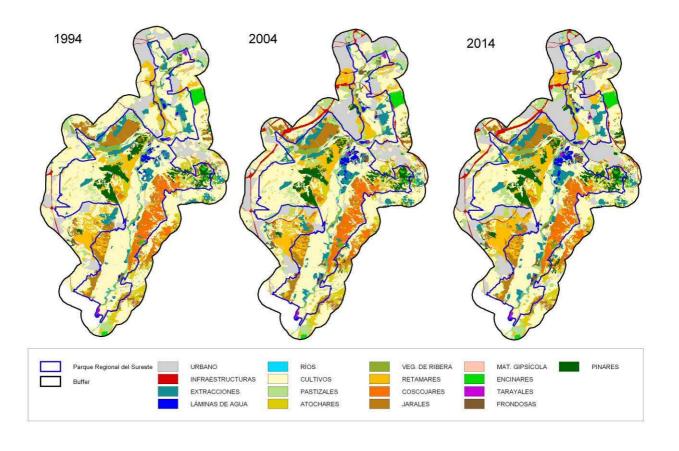




Figura 3. Cartografía resultante de la aplicación del Autómata Celular para una proyección de 10 años bajo el escenario tendencial. Se representan también los mapas de usos del suelo de 1994 y 2004 que permiten comprara su evolución.

4.1.2 Dinámicas territoriales

Una vez analizados estos cambios y su efecto sobre el territorio, se tipificaron los cambios en las 10 dinámicas definidas en el periodo 1994-2004. En la Figura 4 se observa que, mientras que en el Área de Influencia domina la urbanización y el abandono de los usos agrarios, las dinámicas que ocurren en el interior del Parque están relacionadas con la apertura de nuevas actividades extractivas, el abandono del uso agrario, el cierre de antiguas graveras y el avance natural de la vegetación principalmente (Figura 4). En cuanto a la distribución espacial de las dinámicas territoriales (Figura 5) se observa como, a diferencia del periodo 1994-2004 en el que los cambios se concentraban en amplias zonas como muestran los polígonos de mayor entidad correspondientes a dinámicas territoriales, entre 2004 y 2014 éstos son de menor tamaño y están dispersos por todo el Parque y su Área de Influencia. No obstante, destaca la zona en torno al río Jarama en la que se detecta un mayor número de polígonos correspondientes a dinámicas relacionadas con la actividad extractiva. Igualmente, en el Área de Influencia las dinámicas se concentran en las zonas agrícolas de Valdemoro. En este caso se trata de dinámicas de abandono del uso agrario.

En general se observa que en este escenario, en el que la probabilidad de cambio se basa en lo ocurrido en un periodo de tiempo anterior, los tipos de cambios en el paisaje son los mismos aunque con variaciones en sus tasas de cambio. Es decir, parece que la tendencia sería hacia una homogenización del paisaje con el paso del tiempo, en el que prevalecerían sólo algunos tipos de usos en detrimento del resto.

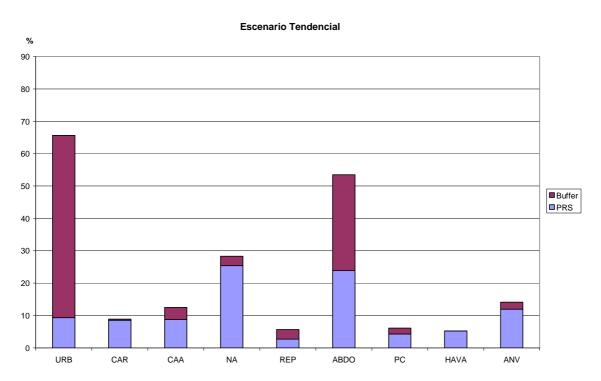




Figura 4. Distribución de frecuencias, en tanto por ciento, de cada tipo de dinámica resultante del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y su Área de Influencia en el escenario tendencial entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

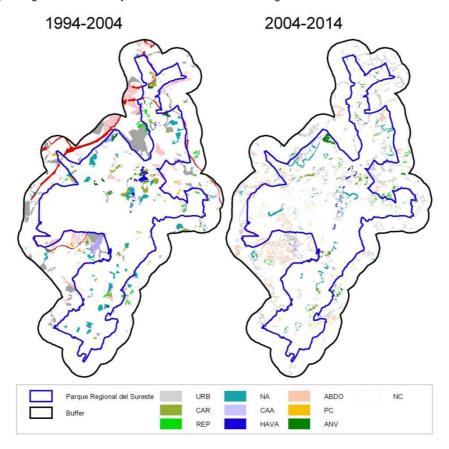


Figura 5. Distribución espacial de las dinámicas territoriales observadas en el periodo 1994-2004 y resultantes del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y su Área de Influencia en el escenario tendencial entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

Cambios como los aquí detectados en usos asociados a dinámicas socioeconómicas como el abandono de los usos agrarios o el crecimiento del uso urbano provocan una homogenización del paisaje con una pérdida de diferentes especies de flora y fauna asociada a ellos que pueden tener implicaciones en la disponibilidad de alimentos y pérdida de hábitats para determinadas especies protegidas (Farina, 1995 y 1997; McDonald et al. 2000; Suárez-Seoane et al. 2002; Romero-Calcerrada &Perry 2004). Los procesos de matorralización, asociados al abandono de las prácticas agrarias, también están relacionados con una mayor incidencia de incendios en paisajes mediterráneos como el aquí analizado, hecho que hay que tener en cuenta en la gestión del territorio (Vázquez & Moreno, 2001).



3.2 ESCENARIO 2º o URBANO

3.2.1 Cambios en los usos del suelo

Los resultados recogen un aumento de la superficie urbana y una notable pérdida de superficie agraria consecuencia de, por una parte, el aumento de superficie urbana a costa de la superficie cultivada como se constató en el periodo 1994-2004 y, por otra, del abandono de la actividad agraria. Como se observa en la Tabla 8 la superficie cultivada que en 1994 en el Parque era de 15.644.31 ha, pasa a ser de 13.426.3125 ha en 2014. Esta pérdida es mucho más notable en el Área de Influencia donde pasa de 15.844.06 ha en 1994 a tan sólo 9.145 ha en 2014.

Tabla 8. Evolución de la superficie, en hectáreas, de los tipos de usos del suelo del territorio desde 1994 hasta 2014 en Parque y en el Área de Influencia, en el escenario urbano.

		PARQUE ÁREA DE INFLUENCIA				
	1994	2004	2014	1994	2004	2014
Urbano	843.38	1074.81	1298.50	5327.44	7526.06	10067.31
Extractivo	1767.50	2006.13	2123.63	871.25	722.13	520.88
Láminas de agua	425.00	499.13	549.13	1.31	0.88	0.25
Cultivos	15644.31	14440.06	13426.31	15844.06	12018.75	9145.00
Pastizales	1495.19	1541.06	1599.56	1807.06	2485.31	3003.44
Atochares	1168.31	1159.56	1153.31	1345.50	1245.94	1149.69
Veg. Ribera	1244.69	1246.69	1242.94	142.94	118.19	95.06
Retamares	1821.19	2365.31	2732.00	2230.94	2513.94	2570.19
Coscojares	2120.13	2114.50	2106.38	526.81	521.06	509.19
Jarales	2221.38	2119.94	2026.50	1434.13	1346.31	1325.06
Mat. Gipsícola	74.31	13.88	8.44	121.13	117.44	117.44
Encinares	119.63	118.63	118.00	505.50	489.19	488.56
Tarayales	131.81	149.44	166.94	0.06	0.06	0.06
Frondosas	170.25	362.13	568.38	40.44	40.44	40.44
Pinares	1855.19	1812.75	1904.00	233.75	402.63	515.13

Si comparamos las tasas de cambio de los usos del suelo en el periodo 1994-2004 con el comprendido entre 2004 y 2014 se observa que el uso urbano, si bien presenta altas tasas de cambio en ambos periodos, ésta es algo inferior en el segundo periodo que en el primero (27,44% para el periodo 1994-2004 y 20,81% para el periodo



2004-2014 en el Parque, 41,27% y 33,77% en el Área de Influencia). La tasa de cambio de los cultivos se mantiene en ambos periodos tanto en el Parque como en el Área de Influencia (Tabla 9).

Figura 6 muestran como estos cambios se reflejan en el territorio en los tres periodos de tiempo analizados (1994, 2004 y 2014). Al igual que en el escenario tendencial, el uso urbano se extiende, principalmente en el Área de Influencia, en las zonas más próximas a la ciudad de Madrid (municipios de Rivas-Vaciamadrid y San Fernando de Henares) y en las inmediaciones de las autovías A3 (Mejorada del Campo y Arganda del Rey) y A4 y (Getafe, Pinto, Valdemoro, San Martín de la Vega y Ciempozuelos). Este crecimiento urbano se hace a costa de la superficie agraria de estas zonas, lo que supone una importante pérdida de superficie cultivada en el Área de influencia. Nuevamente, en el interior del PRS, el crecimiento urbano está controlado y la pérdida de superficie cultivada se debe, fundamentalmente, al proceso de abandono.

Tabla 9. Tasas de cambio de los tipos de usos del suelo en relación a la superficie de partida en los periodos 1994-2004 y 2004 -2014 en el Parque y en el Área de Influencia, en el escenario urbano.

	PAR	QUE	ÁREA DE	INFLUENCIA
	94-04	04-14	94-04	04-14
Urbano	27.44	20.81	41.27	33.77
Extractivo	13.50	5.86	-17.12	-27.87
Láminas de agua	17.44	10.02	-32.82	-71.59
Cultivos	-7.70	-7.02	-24.14	-23.91
Pastizales	3.07	3.80	37.53	20.85
Atochares	-0.75	-0.54	-7.40	-7.73
Veg. Ribera	0.16	-0.30	-17.31	-19.57
Retamares	29.88	15.50	12.69	2.24
Coscojares	-0.27	-0.38	-1.09	-2.28
Jarales	-4.57	-4.41	-6.12	-1.58
Mat. Gipsícola	-81.32	-39.21	-3.05	0.00
Encinares	-0.84	-0.53	-3.23	-0.13
Tarayales	13.38	11.71	0.00	4.17
Frondosas	112.70	56.95	0.00	-0.01
Pinares	-2.29	5.03	72.25	27.94

Parece que en un escenario como este en el que se acentúa tanto el desarrollo del uso urbano como la pérdida del uso agrario, los cambios se reflejan de forma mucho



más marcada sobre el territorio en la zona no protegida. Sin embargo, esta pérdida de superficie cultivada en el interior del PRS tiene graves consecuencias en un territorio como éste ya que en muchos casos va ligada a la pérdida de especies protegidas o en peligro de extinción como es el caso de muchas de las aves esteparias (Alonso et al. 2003).

Además, en el interior del Parque se aprecia una fuerte pérdida de matorral gipsícola (Tabla 9), hábitat de un importante número de especies de gran interés por su singularidad y vulnerabilidad, algunas de ellas endemismos ibéricos y que forman parte de hábitats de conservación prioritaria incluidos en la Directiva Hábitats de la Unión Europea (DOCE, 1992). El resto de tipos de usos de carácter natural, sufren una pérdida de superficie, excepto las frondosas y los pinares que, sorprendentemente en un escenario como el proyectado, aumentan su superficie (Tabla 8).

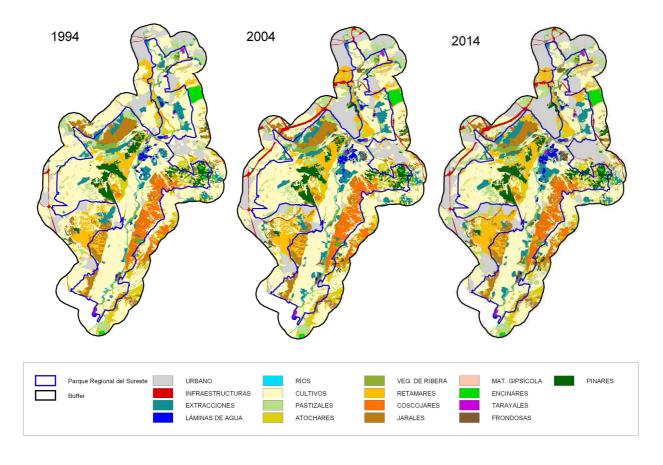


Figura 6. Cartografía resultante de la aplicación de la metodología de AC para una proyección de 10 años bajo el escenario urbano. Se representan también los mapas de usos del suelo de 1994 y 2004 que permiten el análisis de su evolución.



3.2.2 Dinámicas territoriales

En la Figura 7 se observa que una vez analizados los principales cambios que tienen lugar en el territorio y su posterior tipificación de acuerdo a los 10 tipos de dinámicas territoriales, las dinámicas más frecuentes en el Área de Influencia son el abandono de las prácticas agrarias y la urbanización. Sin embargo, en el Parque, aunque estas dinámicas también son importantes existen otras de carácter más natural como es el Desarrollo de humedales y su vegetación asociada, la Puesta en cultivo o el Avance natural de la vegetación propias de un espacio protegido. Por último, cabe destacar también en el interior del Parque el aumento de la actividad extractiva con las consecuencias que esto tiene sobre el medio natural al tratarse de un uso muy agresivo.

Igual que ocurría en el escenario tendencial, se observa como la distribución espacial de las dinámicas territoriales en el Parque y su Área de Influencia en el periodo 2004 y 2014 es más dispersa que entre 1994 y 2004 (Figura 8). Además, los polígonos correspondientes a las dinámicas territoriales son de menor tamaño. Nuevamente, el área en torno al río Jarama se ve afectada por una mayor frecuencia de dinámicas, principalmente relacionadas con la actividad extractiva. En el Área de Influencia la dinámica de abandono del uso agrario se observa en las zonas agrícolas de Valdemoro.

Observando los resultados se puede afirmar que el territorio resultante de la aplicación del autómata celular bajo el escenario urbano es similar al obtenido bajo el escenario tendencial, aunque los procesos de urbanización y de abandono agrario se intensifican. El resultado es nuevamente un territorio más homogéneo en el que prevalecen sólo algunos tipos de usos en detrimento del resto con las importantes consecuencias sobre el medio natural que esto implica.

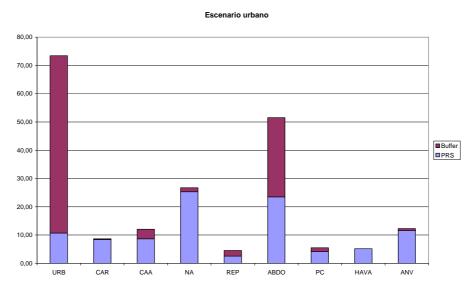


Figura 7. Distribución de frecuencias, en tanto por ciento, de cada tipo de dinámica resultante del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y en su Área de Influencia, en el escenario urbano entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.



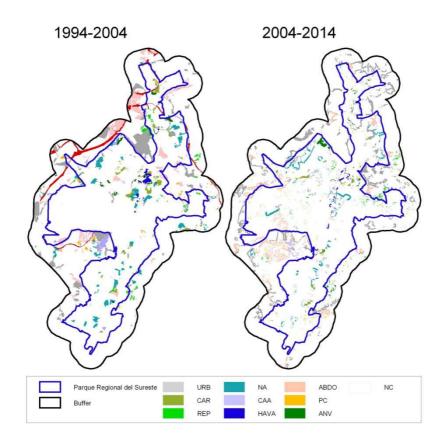


Figura 8. Distribución espacial de las dinámicas territoriales observadas en el periodo 1994-2004 y resultantes del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y su Área de Influencia en el escenario urbano entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

3.3 ESCENARIO 3º o CONSERVADOR

3.3.1 Cambios en los usos del suelo

En este último escenario se observa que en el interior del PRS existe un ligero aumento de la superficie urbana debido al cierre de alguna explotación de áridos en zonas periurbanas, manteniéndose a su vez prácticamente igual la superficie cultivada y aumentando todos los usos de tipo natural en el interior del Parque (Tablas 10 y 11 y Figura 9). Al igual que en los dos escenarios anteriores, ambos procesos se localizan en las mismas zonas, principalmente en el Área de Influencia, donde se ralentizan tanto la urbanización como la pérdida de cultivos. A su vez, se recuperan las formaciones de matorral y las arbóreas.

Hay que destacar también, la disminución de los usos extractivos en el interior del Parque, observándose claramente como, por ejemplo, a lo largo del curso del río Jarama el número de explotaciones en 2014 es mucho menor que en 2004 y que en 1994. Algo muy similar se observa en los cursos del resto de ríos que atraviesan el Parque.



Tabla 10. Evolución de la superficie en hectáreas de los tipos de usos del territorio desde 1994 hasta 2014 en el Parque y su Área de Influencia, en el escenario conservador.

		PARQUE		ÁREA DE INFLUENCIA				
-	1994	2004	2014	1994	2004	2014		
Urbano	843.38	1074.81	1232.94	5327.44	7526.06	8627.31		
Extractivo	1767.50	2006.13	201.13	871.25	722.13	612.13		
Láminas de agua	425.00	499.13	677.88	1.31	0.88	9.00		
Cultivos	15644.31	14440.06	14306.94	15844.06	12018.75	9893.75		
Pastizales	1495.19	1541.06	1613.56	1807.06	2485.31	2786.56		
Atochares	1168.31	1159.56	1252.06	1345.50	1245.94	1251.56		
Veg. Ribera	1244.69	1246.69	1363.56	142.94	118.19	151.31		
Retamares	1821.19	2365.31	2838.44	2230.94	2513.94	2951.44		
Coscojares	2120.13	2114.50	2214.50	526.81	521.06	566.06		
Jarales	2221.38	2119.94	2228.06	1434.13	1346.31	1403.81		
Mat. Gipsícola	74.31	13.88	13.875	121.13	117.44	117.44		
Encinares	119.63	118.63	118.63	505.50	489.19	488.56		
Tarayales	131.81	149.44	273.81	0.06	0.06	0.06		
Frondosas	170.25	362.13	676.50	40.44	40.44	40.44		
Pinares	1855.19	1812.75	2012.13	233.75	402.63	648.25		

Tabla 11. Tasa de cambio de los tipos de usos del suelo en relación a la superficie de partida en los periodos 1994-2004 y 2004 -2014 en el buffer y en el Parque, en el escenario conservador.

	PARQUE		ÁREA DE II	NFLUENCIA
	94-04	04-14	94-04	04-14
Urbano	27.44	14.71	41.27	14.63
Extractivo	13.50	-89.97	-17.12	-15.23
Láminas de agua	17.44	35.81	-32.82	922.73
Cultivos	-7.70	-0.92	-24.14	-17.68
Pastizales	3.07	4.70	37.53	12.12
Atochares	-0.75	7.98	-7.40	0.45
Veg. Ribera	0.16	9.37	-17.31	28.02
Retamares	29.88	20.00	12.69	17.40



Coscojares	-0.27	4.73	-1.09	8.64
Jarales	-4.57	5.10	-6.12	4.27
Mat. Gipsícola	-81.32	-0.04	-3.05	0.00
Encinares	-0.84	0.00	-3.23	-0.13
Tarayales	13.38	83.23	0.00	4.17
Frondosas	112.70	86.81	0.00	-0.01
Pinares	-2.29	11.00	72.25	61.00

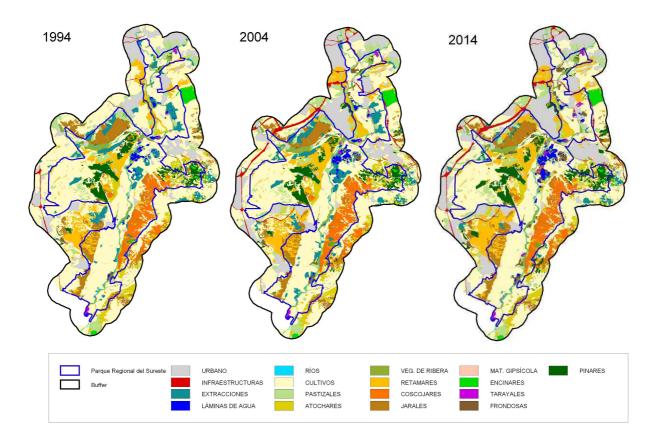


Figura 9. Cartografía resultante de la aplicación de la metodología de AC para una proyección de 10 años bajo el escenario conservador. Se representan también los mapas de usos del suelo de 1994 y 2004 que permiten el análisis de su evolución.



3.3.2 Dinámicas territoriales

Una vez analizados los cambios territoriales en estos diez años se tipificaron en las 10 dinámicas territoriales descritas en de las Heras et al., 2008. Como se ve en la Figura 10, las principales dinámicas en el Área de Influencia siguen siendo el abandono y la urbanización. En el interior del Parque las dinámicas dominantes son las relacionadas con el cierre de explotaciones de áridos y vertederos, la generación de zonas húmedas asociadas a las explotaciones de áridos y la recuperación de la cubierta vegetal.

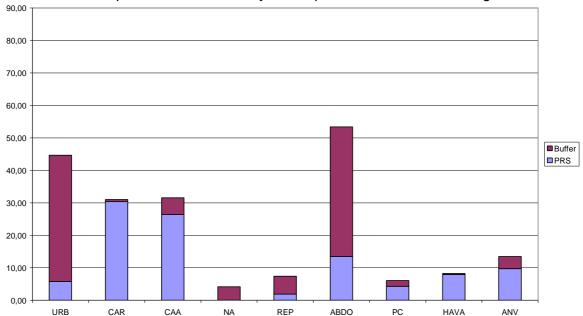


Figura 10. Distribución de frecuencias, en tanto por ciento, de cada tipo de dinámica resultante del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y en su Área de Influencia, en el escenario conservador entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

Como se observa en la Figura 11, en el interior del Parque no sólo se observan diferentes dinámicas con respecto a los escenarios anteriores, sino que además éstas se producen en polígonos de tamaño superior a lo observado en los escenarios tendencial y urbano. Se trata, fundamentalmente, de explotaciones de áridos y vertederos clausurados, bien restaurados o bien abandonados. Además, al igual que en los escenarios anteriores, se sigue observando una mayor ocupación del territorio por distintos tipos de dinámicas territoriales distribuidas en polígonos de pequeño tamaño. Una vez más, en el Área de Influencia la dinámica de abandono del uso agrario se observa en las zonas agrícolas de Valdemoro.

Estos resultados coinciden con aquellos que serían de esperar en una zona como la aquí analizada donde priman la conservación, recuperación y el mantenimiento de los



valores que permitieron la declaración de un espacio natural protegido. Este tipo de escenario minimizaría a su vez un mayor aislamiento de la zona protegida ya que en su Área de Influencia también se ven limitadas las actividades de tipo urbano con respecto al periodo anterior.

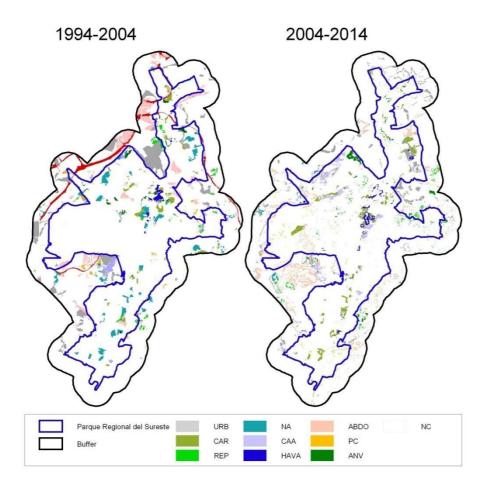


Figura 11. Distribución espacial de las dinámicas territoriales observadas en el periodo 1994-2004 y resultantes del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular en el Parque y su Área de Influencia en el escenario conservador entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.



3.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES ESCENARIOS

Una vez proyectado el autómata celular se pueden evaluar las tasas de cambio en el periodo completo de 1994 a 2014. Comparando éstas para los distintos escenarios en el Parque, se observa que son prácticamente iguales en los escenarios tendencial y urbano (Tabla 12). Es decir, parece que la tendencia actual de cambio apunta hacia un aumento de la urbanización del territorio similar a la que se forzaría con un escenario urbano como el aquí simulado. Sin embargo, en un escenario conservador, las variaciones frente a los dos escenarios anteriores son notables, destacando la fuerte disminución del uso extractivo, la disminución del crecimiento del uso urbano y el aumento en general de los usos más naturales. Con respecto al abandono del uso agrícola se observa que, aunque existe una pérdida, ésta se ve reducida a la mitad en comparación con los otros escenarios.

En el Área de Influencia las conclusiones que se pueden obtener comparando los tres escenarios son diferentes. En este caso, las diferencias entre los dos primeros escenarios y el conservador se ven mitigadas, pudiendo destacar pequeñas variaciones en usos de tipo natural en el conservador (Tabla 12). A su vez, en este último escenario, el crecimiento del uso urbano se acerca a los valores de los otros dos escenarios mientras que el abandono del uso agrícola es prácticamente igual que en el escenario tendencial aunque menor que en el escenario urbano.

Tabla 12. Comparación entre las tasas de cambio de cada tipo de uso de suelo observadas para cada uno de los escenarios de cambio proyectados a 2014 en el Parque y su Área de Influencia, en el periodo comprendido entre 1994 y 2014.

	PARQUE			ÁREA DE INFLUENCIA			
	TENDENCIAL	URBANO	CONSERVADOR	TENDENCIAL	URBANO	CONSERVADOR	
Urbano	50.68	53.96	46.19	77.06	88.97	61.94	
Extractivo	20.40	20.15	-88.62	-30.89	-40.22	-29.74	
Láminas de agua	30.09	29.21	59.50	14.50	-80.92	587.02	
Cultivos	-14.15	-14.18	-8.55	-39.00	-42.28	-37.56	
Pastizales	6.37	6.98	7.92	58.22	66.21	54.20	
Atochares	-1.02	-1.28	7.17	-13.86	-14.55	-6.98	
Veg. Ribera	0.16	-0.14	9.55	-31.75	-33.49	5.86	
Retamares	50.22	50.01	55.86	19.24	15.21	32.30	
Coscojares	-0.56	-0.65	4.45	-2.16	-3.35	7.45	
Jarales	-8.72	-8.77	0.30	-6.56	-7.61	-2.11	
Mat. Gipsícola	-88.65	-88.65	-81.33	-3.05	-3.05	-3.05	



Encinares	-1.36	-1.36	-0.84	-3.23	-3.35	-3.35
Tarayales	28.55	26.65	107.73	4.17	4.17	4.17
Frondosas	236.42	233.85	297.36	-0.01	-0.01	-0.01
Pinares	2.87	2.63	8.46	142.83	120.37	177.33

Observando la Tabla 13 y la Figura 12, se ve como la distribución de frecuencias de las dinámicas territoriales en los tres escenarios simulados presenta variaciones tanto del ENP como en su Área de Influencia. En el Parque la distribución de frecuencias de las dinámicas es mucho más heterogénea que en su Área de Influencia, dominando en esta última, las mismas dos dinámicas siempre: el abandono de las actividades agrarias y la urbanización. Sin embargo, en cada uno de los tres escenarios en el interior del Espacio, son más parecidas en el escenario urbano y tendencial que en el conservador. En este escenario conservador las dinámicas dominantes son el cierre de las explotaciones de áridos mientras que en los otros dos abundan las nuevas explotaciones. Algo parecido ocurre con el abandono de las prácticas agrarias y la urbanización siendo mucho mayor en los escenarios tendencial y urbano que en el conservador.

Tabla 13. Superficie en hectáreas de cada tipo de dinámica territorial en 2014 en los tres hipotéticos escenarios de cambio de uso en el Parque y su Área de Influencia. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

	PARQUE			ÁREA DE INFLUENCIA		
Dinámica	TENDENCIAL	URBANO	CONSERVADOR	TENDENCIAL	URBANO	CONSERVADOR
URB	196,00	223,69	158,13	1.906,88	2.541,25	1.101,25
CAR	178,88	175,06	832,06	12,63	12,19	18,00
CAA	183,38	180,81	722,63	127,13	139,56	145,31
NA	532,13	528,75	0,00	99,00	57,19	117,25
REP	56,06	52,88	51,88	101,31	82,81	155,75
ABDO	500,38	490,56	369,69	1.003,13	1.135,88	1.129,88
PC	90,06	87,31	118,75	61,25	55,00	50,19
HAVA	109,38	108,25	217,94	0,63	0,00	8,69
ANV	250,94	241,88	266,00	73,75	28,88	106,94
NC	29.368,63	29.376,63	28.728,75	27.326,63	26.659,56	27.879,06
TOTAL	31.465,81	3.1465,81	31.465,81	30.712,31	30.712,31	30.712,31



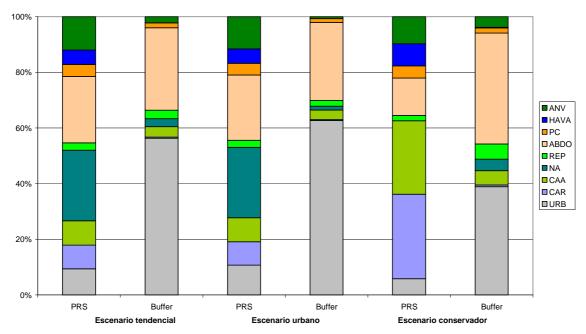


Figura 12. Comparación de la distribución de frecuencias, en tanto por ciento, de cada tipo de dinámica resultante del análisis de los tipos de cambios detectados tras la aplicación del autómata celular respecto al total de superficie que ha cambiado en el Parque y el Área de Influencia en los tres escenarios simulados entre 2004 y 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.

Con respecto a la distribución espacial de estas dinámicas en el territorio se vuelve a observar que el escenario urbano y el tendencial son muy parecidos mientras que en el conservador las dinámicas se distribuyen de forma distinta (Figura 13).

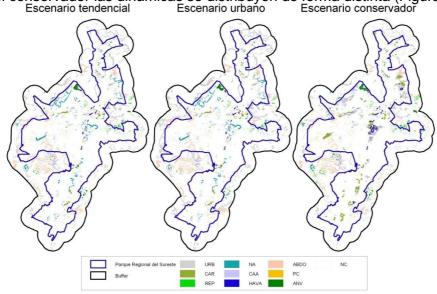


Figura 13. Representación cartográfica de las dinámicas territoriales observadas en los tres escenarios simulados a 2014. URB = Urbanización; CAR = Cese de actividad con Restauración; CAA = Cese de actividad y abandono; NA = Nueva actividad; REP = Repoblación; ABDO = Abandono; PC = Puesta en cultivo; HAVA = Desarrollo de humedales y su vegetación asociada y ANV = Avance natural de la vegetación.



Teniendo en cuenta el crecimiento del uso urbano y el predominio de la dinámica urbana en cualquiera de los escenarios proyectados en el Área de Influencia, es de suponer que, a medida que pasa el tiempo, se dificultarán más las conexiones ecológicas entre el PRS y el territorio que le rodea, creando una isla. Sin un sistema de conexiones que permitan el flujo de materia, energía e información entre los distintos ecosistemas dicho territorio estaría, probablemente, abocado a desaparecer (Fernández-Sañudo et al., 1996; Bunn et al., 2000).

Para afrontar la conservación desde una perspectiva más integrada, es necesario asumir que los espacios protegidos están en constante conexión con su territorio circundante. Es necesario, por tanto, buscar formas coherentes de ordenación territorial consecuentes con esta finalidad del mantenimiento de los procesos naturales y los bienes y servicios ambientales (González Bernáldez, 1991; Noss, 1995 y 2000; Múgica de la Guerra et al., 2002; Mata Olmo, 2005).

La eficacia de la conservación de un territorio bajo una determinada figura de protección requiere tener en cuenta una serie de premisas esenciales para asegurar dicha protección a lo largo del tiempo. Entre otras, el seguimiento de la gestión, la conectividad con otros espacios de alto valor, la concienciación de la población ya sea local o visitante, son herramientas clave para ello (González Bernáldez, 1991; O'Neill et al., 1994; Council of Europe, 1996; Gómez-Limón et al., 2000; Hawkins & Selman, 2002;).

4. CONCLUSIONES

La metodología que aquí se presenta permite simular el efecto que se produciría en el territorio al variar las tendencias de cambio que influyen sobre él y así poder saber cuales serían las consecuencias y anticiparse a ellas a la hora de gestionar un territorio.

La utilización de modelos basados en Autómatas Celulares presenta ciertos problemas en su aplicación a usos de carácter lineal como es el caso de las infraestructuras de transporte o de los ríos. Es importante trabajar en este sentido en posteriores estudios, así como tener en cuenta estas restricciones a la hora de gestionar el territorio, ya que el efecto fragmentador que provoca el desarrollo de infraestructuras de transporte tiene graves consecuencias sobre el medio natural (aislamiento, pérdida de hábitats y especies, etc.) (Fernández-Sañudo et al. 2003 y 2004).

En un territorio como el estudiado en el que se analiza un Espacio Natural Protegido y su área circundante los resultados señalan claras diferencias entre una localización u otra en cada uno de los tres escenarios. En todos ellos se detecta un crecimiento mayor de aquellos usos más agresivos con el medio natural en la zona del Área de Influencia que en el Parque. Por el contrario, el desarrollo de los usos de carácter más natural es más pronunciado siempre en el interior del Parque y de manera mucho más clara en el escenario conservador.

Parece que en este territorio la tendencia actual observada en el llamado escenario tendencial es muy parecida a lo que ocurre al proyectar un escenario urbano. Está información es de gran interés en la gestión del territorio por las graves



consecuencias que producen tanto el crecimiento urbano por su carácter irreversible, como el abandono de los usos agrarios por sus consecuencias en la pérdida de hábitats y especies de interés natural.

La comparación entre los tres escenarios simulados hace ver que si se pretende la conservación del medio natural en el Espacio Protegido sería necesario aplicar medidas acordes con las aplicadas en el escenario conservador. En él se observan cambios en los tipos de usos y en las dinámicas asociadas a ellos, tanto en su frecuencia como en su distribución espacial, que permiten mitigar aquellas dinámicas que son más agresivas con el medio y desarrollar aquéllas relacionadas con procesos ecológicos naturales. El análisis de los cambios que han ocurrido en el territorio, dónde se han producido y cuáles son sus principales efectos es de gran interés. Los sistemas naturales y sociales que son objeto de gestión en los espacios protegidos se caracterizan por su dinamismo. Sus cambios son determinados tanto por procesos naturales como por los derivados de la influencia humana, procedentes tanto de actividades de gestión como de otras muchas realizadas en su entorno más o menos inmediato (turismo, agricultura, deporte, etc.). La conservación en los ENP debe tener en cuenta este dinamismo, así como, los ritmos de cambio de su estructura, composición y funcionamiento. Una gestión eficaz de los ENP requiere disponer de herramientas que permitan detectar estos cambios en un futuro (CEMAB, 1997; Fernández-Sañudo et al, 2009; Europarc-España, 2005). En este trabajo se constata que su proyección a corto y medio plazo es aún más interesante ya que permite prever dichos efectos y solventarlos o evitarlos en caso de que sea necesario.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Aaviksoo, K.,** 1993. Changes of plant cover and land use types (1950's to 1980's) in three mire reserves and their neighbourhood in Estonia. Landscape Ecology 8: 287-301.
- Ajibefun, I.A.; Wenkel, K-O.; Wielan, R. & Mirschel, W., 2004. Modelling of landscape and land use changes with application of spatial analysis modelling tool to Quillow Region of North East Germany. Food, Agriculture & Environment Vol. 2(2): 364-368.
- Alonso, J.C.; Palacín, C. & Martín, C.A., 2003. Status and recent trends of the Great Bustard (Otis tarda) population in the Iberian Peninsula. Biological Conservation 110: 185-195.
- Barredo J. I.; Kasanko, M.; McCormick, N. & Lavalle, C. J., 2003. Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. Landscape and Urban Plannin, 64: 145-160.
- Barredo, J. I.; Demicheli, L.; Lavalle, C.; Kasanko, M. & McCormick, N., 2004. Modelling future urban scenarios in devoloping countries: an application case study in Lagos, Nigeria. Environment and Planing B: Planing and Design 32: 65-84.



- **Batty, M. & Xie, Y.,** 1997. Possible urban automata. Environment and Planning B: Planning and Design 24: 175-192.
- **Batty, M.,** 1997. Cellular automata and urban form: a primer. Journal of the American Planning Association 63: 266-274.
- **Berling-Wolf, S. & Wu, J.**, 2004. Modelling urban landscape dynamics: A review. Ecological Research 19: 119-129.
- **BOCM**, 1991. Acuerdo de 10 de octubre de 1991, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Catálogo de Embalses y Humedales de la Comunidad de Madrid. BOCM, nº 257 de 29 de octubre de 1991.
- **BOCM**, 1994. Ley de la Comunidad de Madrid 6/1994 de 28 de junio de creación del Parque Regional en torno a los ejes de los Cursos Bajos de los ríos Manzanares y Jarama. BOCM, nº 163 de 12 de julio de 1994.
- Bunce, R.G.H.; Pérez, M.; Elbersen, B.S.; Prados, M.J.; Andersen, E.; Bell, M. & Smeets, P.J.A.M., 2001. Examples of agri-environment schemes and livestock systems and their influence on Spanish cultural landscapes. Alterra, Wageningen.
- Bunn, A.G.; Urban, D.L. & Keitt, T.H., 2000. Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. Journal of Environmental Management 59, 265-278.
- **Comunidad de Madrid**, 2005. Atlas Básico. Parque Regional del Sureste. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección General de Medio Natural. Comunidad de Madrid.
- **Couclelis, H.,** 1997. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. Environment and Planning B: Planning and Design 24: 165-174.
- **Council of Europe,** 1996. The pan-european biological and landscape diversity strategy. Council of Europe, UNEP, ECNC.
- **De las Heras, P.; Fernández-Sañudo, P. y Roldán Martín, M.J.**, 2008. Análisis de las dinámicas territoriales en Espacios Naturales Protegidos y su Área de Influencia: el Parque Regional del Sureste. Informe CIAM 1909. 240 pp.
- **Deadman, P. D.; Brown, R. D. & Gimblett, H. R.,** 1993. Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata. Journal of Environmental Management 37: 147-160.
- **DOCE**, 1992. Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. DO L 206 de 22 del julio de 1992.



- **EUROPARC-España**, 2005. Diseño de planes de seguimiento en espacios naturales protegidos. Manual para gestores y técnicos. Ed. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid. 176 pp.
- **Farina, A.,** 1995. Distribution and dynamics of birds in a rural sub-Mediterranean landscape. Landscape and Urban Planning 31, 269-280.
- **Farina, A.,** 1997. Landscape structure and breeding bird distribution in a sub-Mediterranean agro-ecosystem. Landscape Ecology 12, 365-378.
- Fernández-Sañudo, P. & Gil Gil, T., 2003. Study of the effect of the transportation infrastructures on habitats fragmentation in the future National Park "Sierra de Guadarrama" (Madrid, Spain). In: Institute of Nature Conservation (ed.) Proceedings of IENE International conference on habitat fragmentation due to transportation infrastructure. Bruselas (Bélgica).
- **Fernández-Sañudo, P. & Gil Gil, T.,** 2004. Fragmentation effects on the state of conservation of forest and shrub ecosystems in "Sierra de Guadarrama" future National Park (Madrid, Spain). In: Smithers, R. (Ed.) Landscape ecology of trees and forest. IALE (UK). 355 pp.
- **Fernández-Sañudo, P.; Pérez Corona, E. y de Lucio, J.V.,** 1996. Sistemas de espacios naturales protegidos con referencia a su grado de cobertura y conectividad. Actas del Congreso Nacional de Medio Ambiente. 20-29 de noviembre, Madrid.
- Fernandez-Sañudo, P.; Roldán Martín, M.J.; de las Heras, P. & Vía García, M., 2009. What form will a protected natural area take in the future? Relationship between territorial and socioeconomic dynamics in the Southeast Regional Park (Madrid, Spain). In: Breuste, J.; Kozová, M. & Finka, M. (eds.) European Landscapes in Transformation: Challenges for Landscape Ecology and Management. European IALE Conference 2009. 70 years of Landscape Ecology in Europe. Salzburg. (Austria), Bratislava (Slovakia). 119 pp.
- García Novo, F., 1999. Los paisajes transitorios. El futuro de los paisajes tradicionales en una sociedad urbana. En: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Academia de Ingeniería; ETS Ingenieros de Montes (eds.) Libro Homenaje a D. Ángel Ramos Fernández (1926-1998). Realigraf, Madrid, España. 601-628 pp.
- **Gómez de Aizpurúa, C.; González Granados, J. y Viejo Montesino, J.L.,** 1999. Mariposas del sur de la Comunidad de Madrid. Doce Calles. Aranjuez. 333 pp.
- Gómez Sal, A. y Nicolau, J.M., 1999. Hacia una caracterización ecológica de los paisajes degradados. Bases para su restauración. En: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Academia de Ingeniería; ETS Ingenieros de Montes (eds.) Libro Homenaje a D. Ángel Ramos Fernández (1926-1998). Realigraf, Madrid, España. 629-639 pp.



- **Gómez Sal, A.; Belmontes, J-A. & Nicolau, J-M.**, 2003. Assesing landscape values: a proposal for multidimensional conceptual model. Ecological Modelling 168: 319-341.
- **Gómez-Limón, J.; de Lucio, J.V. y Múgica, M.,** 2000. Los Espacios Naturales Protegidos del Estado Español en el umbral del siglo XXI. De la declaración a la gestión activa. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid. 94 pp.
- **Hawkins, V. & Selman, P.,** 2002. Landscape scale planning: exploring alternative land use scenarios. Landscape and Urban Planning 60: 211-224.
- **Li, B.L.,** 1995. Stability analysis of a nonhomogeneous Markovian landscape model. Ecological Modelling, 82: 247-256.
- Li, X. & Yeh, A.G.O., 2000. Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. International Journal of Geographical Information Science 14: 131-152.
- **Mata Olmo, R.,** 2005. Integración de los espacios naturales protegidos en la ordenación del territorio. Monografía Europarc-España. 118 pp.
- McDonald, D., Crabtree, J.R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P. Gutiérrez-Lazpita, J., Gibon, A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas in Europe: environmental consequences and policy response. Journal of environmental Management 59, 47-69.
- Múgica de la Guerra, M.; de Lucio Fernández, J.V.; Martínez Alandi, C.; Sastre Olmos, P.; Atauri Mezquida, J.A. y Montes del Olmo, C., 2002. Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. Dirección General de la RENP y Servicios Ambientales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 124 pp.
- **Noss, R.F.,** 1995. Ecological integrity and sustainability: buzzwords in conflict? En: Westra, L. y Lemons, J. (eds.), Perspectives on Ecological Integrity. Kluwer Academic Press. pp: 60-76.
- Noss, R.F., 2000. Maintaining the Ecological Integrity of landscapes and Ecoregions. En: L. Westra; D. Pimentel & R.F. Noss (eds.), Ecological Integrity. pp: 191 -208. Island Press.
- O'Neill, R.V.; Jones, K.B.; Riitters, K.H.; Wickham, J.E. & Goodman, I.A., 1994. Landscape monitoring and assessment research plan. EPA/620/R-94/009. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA, Las Vegas.



- **Prieler, S.; Leskó, A.P. & Anderberg, S.,** 1998. Three scenarios for land-use change: a case study in Central Europe. RR-98-3. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria.
- Roldán Martín, M.J.; de las Heras, P.; Fernández-Sañudo, P. & Vía García, M., 2008. Socio-territorial dynamics in a protected natural area: evolution and future scenarios. Proceedings of the 23rd Session of The Permanent European Conference for the Study of the Rural Landscape. Landscapes, identities and development. Lisbon and Obidos, Portugal, 1-5 Septembre, 2008.
- Roldán Martín, M.J.; Fernández Sañudo, P. & de las Heras Puñal, P., 2009. Does a protected natural area effectively protect a territory? Differences inside and outside two protected areas in the Madrid Region (Spain) In: Breuste, J.; Kozová, M. & Finka, M. (eds.) European Landscapes in Transformation: Challenges for Landscape Ecology and Management. European IALE Conference 2009. 70 years of Landscape Ecology in Europe. Salzburg. (Austria), Bratislava (Slovakia). 139 pp.
- Romero-Calcerrada, R. & Perry, G.L.W., 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA "Encinares del río Alberche y Cofio", Central Spain, 1984-1999. Landscape & Urban Planning 66: 217-232.
- Van Hulst, R., 1979. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession. Vegetatio 40 (1): 3-14.
- **Vázquez, A. & Moreno, J.M.,** 2001. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain). Forest Ecol. Management 147, 55-65.
- Ward, D. P.; Murray, A. T. & Phinn, S. R., 2000. A stochastically constrained cellular model of urban growth. Computers, Environment and Urban Systems 24: 539-558.
- White, R. & Engelen, G., 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. Environment and Planning B: Planning and Design 24: 235-246.
- White, R. & Engelen, G., 2000. High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. Computers, Environment and Urban Systems 24: 383-400.
- White, R.; Engelen, G. & Uljee, I., 1999. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land use dynamics. Environment and Planing B: Planing and Design 34: 323-343.
- Wu, F. & Webster, C. J., 1998. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. Environment and Planning B: Planning and Design 25: 103-126.



Yeh, A.G.O. & Li, X. 2002. A cellular automata model to simulate development density for urban planning. Environment and Planning B: Planning and Design 29: 431-450.