

ESCENARIOS Y MODELOS DE SIMULACIÓN COMO INSTRUMENTO EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y METROPOLITANA

Francisco Aguilera Benavente (1), Luis Miguel Valenzuela Montes (1),
Julio Alberto Soria Lara (1), Montserrat Gómez Delgado (2) y Wenseslao Plata Rocha (3)

(1) Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada. España

(2) Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. España

(3) Escuela de Ciencias de la Tierra. Universidad de Sinaloa. México.

RESUMEN

El empleo de escenarios y de modelos en la planificación en ámbitos metropolitanos no se encuentra especialmente extendido en España con respecto a otros países del contexto europeo, en parte motivado por la diferente cultura y tradición del “*planning*” (o de la planificación y ordenación del territorio si se quiere) existente. En este artículo se presenta una discusión acerca de la utilidad y aplicabilidad, tanto del diseño de escenarios futuros, como de los modelos de simulación espacial en la planificación territorial, tras una breve descripción teórica de ambos instrumentos. Finalmente se presenta una propuesta metodológica para la integración de estos instrumentos en el proceso de elaboración de un plan.

Palabras Clave: Escenarios futuros, modelos de simulación espacial, planificación territorial.

ABSTRACT

Scenarios and simulation models are not a common tool used in the metropolitan planning in Spain despite they are frequently used in other European planning cultures. This paper presents a theoretical discussion on the utility and applicability of both scenario planning and the spatial simulation models in the metropolitan planning in Spain. As a result, the paper proposes a methodological approach to guide the integration of these instruments in the plan making process.

Key Words: Future scenarios, spatial simulation models, spatial planning.

1.- INTRODUCCIÓN

La ordenación del territorio y la planificación a escalas metropolitanas en España no se ha caracterizado por la profusión en el empleo de instrumentos como los escenarios futuros (Schwartz, 1991; Dreborg 2004; Borjerson *et al.*, 2006) modelos de simulación espacial (Barredo *et al.*, 2003; Pettit y Pullar, 2004; Benenson y Torrrens, 2004) o los instrumentos de ayuda a la decisión y la planificación (Geertman y Stillwell, 2003, 2004; Klosterman y Pettit, 2005; Carsjens, 2009), en comparación con otras *culturas del planning* europeas (CULTPLAN, 2006) como puede ser la holandesa (Faludi y Van der Valk, 1994; Carsjens, 2009). En ellas, estos instrumentos se

suelen asociar al denominado enfoque del planeamiento orientado al diseño (Faludi, 2000), también denominada visión exploratoria del planeamiento, que se preocupa por los aspectos espaciales de la planificación, es decir, por la organización espacial del territorio.

Dentro de esta visión, algunos enfoques tienden a incorporar aspectos del denominado *scenario planning* (Schwartz, 1991; Stillwell *et al.*, 1999, Marien, 2002; Pettit y Pullar, 2004), entendido éste como un “conjunto de técnicas empleadas para incrementar la conciencia de la posibilidad de diversos futuros posibles en el proceso de toma de decisiones” (Chermack y van der Merwe, 2003). Se incorporan así, a una planificación de vocación es-

pacial, aspectos de los *future studies* y el “pensamiento futuro” (Marien, 2002) mediante el empleo de escenarios en planificación. De esta forma, coinciden el diseño de escenarios futuros con los instrumentos propios de la planificación orientada al diseño (Sistemas de Información Geográfica, modelos de simulación o instrumentos de ayuda a la decisión), ayudando a construir imágenes de evolución futura para la planificación de los territorios, en un enfoque denominado en la literatura anglosajona *spatial scenario planning* (Stillwell *et al.*, 1999; Pettit y Pullar, 2004).

La utilidad de estas imágenes futuras en planificación, radica en diversos aspectos. Uno de ellos es la posibilidad de evaluarlas desde perspectivas ambientales o territoriales a través de instrumentos como la Evaluación Ambiental Estratégica (García Bellido, 2002; Serrano, 2006). Otro aspecto interesante es la posible disminución de la incertidumbre inherente a los procesos de planificación (Dreborg, 2004; Prato, 2007; Berdoulay, 2009; Carsjens, 2009), mediante el incremento de la capacidad de adaptación de los planes (Alfasi y Portugali, 2004), al planificar y diseñar estrategias adecuadas para diversos contextos socioeconómicos, representados por los diferentes escenarios. Igualmente, introducen la posibilidad de discutir las imágenes futuras obtenidas con los diferentes agentes implicados o *stakeholders*, facilitando su participación en la discusión de las mismas y haciendo un proceso de planeamiento más participativo (ESPON, 3.2., 2006, Van Vliet *et al.*, 2009),

Desde esta perspectiva, resulta interesante analizar los instrumentos que forman parte del denominado *spatial scenario planning*, sus posibilidades de aplicación en la planificación territorial y urbana, y las posibles ventajas derivadas. Por ello en el presente artículo se presenta una discusión acerca de dos instrumentos básicos de este enfoque, como son el **diseño de escenarios futuros**, en el contexto de la planificación territorial y **la aplicación de modelos de simulación** que permitan la representación espacial de los futuros plasmados en los escenarios (Van Vliet *et al.*, 2009). Ambas herramientas se mostrarán como instrumentos perfectamente complementarios, comentándose las posibles ventajas de su aplicación, discutiendo e ilustrando su aplicación, así como su integración en el proceso de planificación.

2.- LOS ESCENARIOS COMO INSTRUMENTO EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y METROPOLITANA.

El principal argumento del *scenario planning* es el empleo de escenarios que al ser aplicados al ámbito de la planificación territorial adquieren una perspectiva espacial (Schwartz, 1991; Chermack y van der Merwe, 2003; Peterson *et al.*, 2003; Dreborg, 2004; Borjerson *et al.*, 2006, Carsjens, 2009)¹.

Hoy día, en el ámbito de la planificación los escenarios pueden ser entendidos como “*imágenes hipotéticas del futuro, lógicas y plausibles, formuladas para mostrar posibles situaciones consecuencia de procesos causales o de toma de decisiones*” (Peterson *et al.*, 2003, Carsjens, 2009). Así, los escenarios suelen corresponderse generalmente con imágenes de futuros probables, posibles y/o deseables (Marien, 2002; Borjerson *et al.*, 2006; Carsjens, 2009), que permitan a los planificadores trabajar con planes e instrumentos de planificación lo más adaptables y adecuados para una realidad altamente cambiante, dirigida por factores que en muchos casos escapan de su rango de actuación.

Las posibilidades que se desprenden de lo anterior motivan que la aplicación de escenarios en planificación sea una línea o enfoque de actualidad científica, en el que se encuadran diversos proyectos de investigación en la materia, tanto de carácter nacional como internacional. Algunos de ellos son el proyecto PRELUDE de la Agencia Europea de Medio Ambiente de la Comisión Europea, que explora diferentes escenarios futuros para el paisaje europeo en los próximos 30 años (EEA, 2007); el proyecto ESPON 3.2., que muestra simulaciones espaciales futuras en el contexto de la política europea común, o el proyecto de I+D+i SIMURBAN, en cuyo contexto se enmarca el presente trabajo, que pretende, bajo el enfoque del *spatial scenario planning*, avanzar en los instrumentos de planificación metropolitana.

2.1.- Tipos de Escenarios

De una forma general, es posible establecer diferentes clasificaciones de los escenarios, existiendo varias propuestas por parte de diversos

¹ Una amplia e interesante discusión acerca de la evolución histórica del empleo de los escenarios en planificación puede encontrarse en Peterson y otros (2003).

autores (Van Notten *et al.*, 2003; Borjerson *et al.*, 2006)². Una clasificación de especial interés es la propuesta por Borjerson y otros (2006), basada en los diferentes modos de pensamiento futuro en los que se apoyan los escenarios (Marien, 2002; Dreborg, 2004). Estos modos de pensamiento están relacionados con el tipo de pregunta a la que se intenta dar respuesta al pensar sobre el futuro. Así, se puede plantear el diseño de escenarios para dar respuesta a preguntas como ¿qué pasará?, ¿qué puede pasar? o ¿qué debería pasar?, distinguiendo de esta forma tres modos principales de pensamiento futuro: el predictivo, el exploratorio y el normativo.

El pensamiento predictivo del futuro intenta mostrar el resultado de lo que pasará en un futuro de carácter cercano, a través del hallazgo de la posibilidad de evolución más probable y a partir de determinados factores más o menos conocidos. Se pone de esta forma el énfasis en el resultado y en su validez.

El pensamiento exploratorio está caracterizado por su apertura a diferentes posibilidades de evolución futura y a la ocurrencia/ausencia de determinados eventos. Su objetivo estratégico reside en el hecho de estar mejor preparados para tomar las decisiones adecuadas en el contexto de posibles escenarios emergentes de di-

ferente naturaleza, bajo la perspectiva de que, en determinadas condiciones y ámbitos del pensamiento, resulta imposible predecir lo que realmente va a suceder. El énfasis se sitúa de esta forma en las decisiones a tomar en el contexto de cada posible situación futura.

El pensamiento normativo trata por su parte de imaginar y concebir escenarios futuros que permitan un mejor diseño conducente a un estado "deseable", de acuerdo con diferentes criterios. En este sentido, el énfasis se sitúa en plantear las transformaciones necesarias para poder alcanzar un conjunto de objetivos deseables y la fijación de dichos objetivos.

A partir de estos tres modos de pensamiento futuro, junto con otros aspectos como la estructura de los propios escenarios, o el dominio de factores internos (aquellos controlables por los actores que plantean los escenarios) o externos (aquellos que quedan fuera del campo de influencia de los actores del escenario), Borjerson y otros (2006) establecen hasta 9 tipos de escenarios, agrupados en 3 grupos principales.

El primer grupo es el de los **escenarios predictivos**, que se mueven en el campo del pensamiento futuro de lo **probable**. Estos escenarios tienen como objetivo *predecir* lo que es **probable** que su-

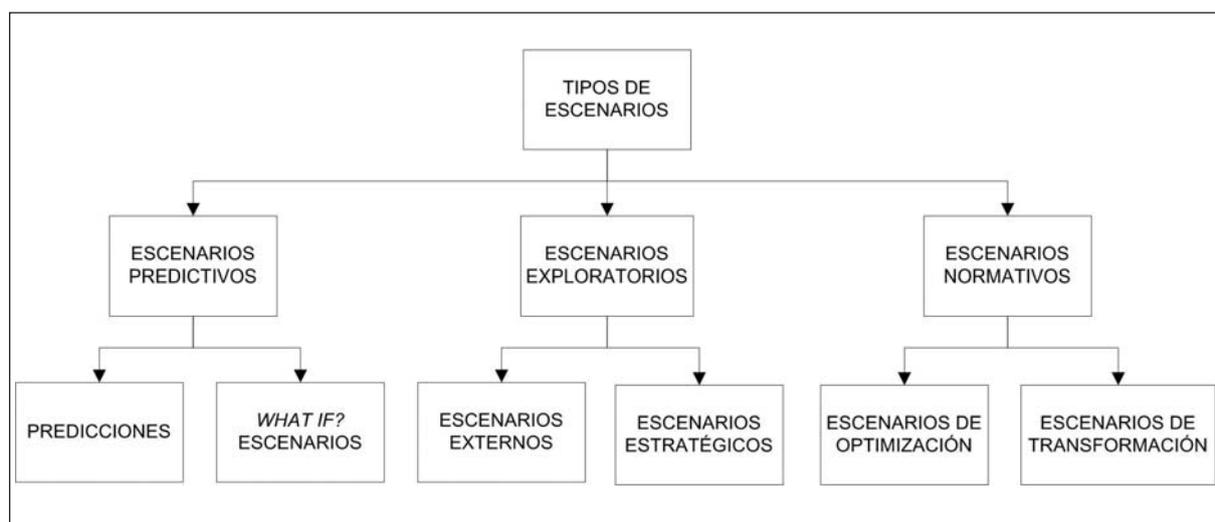


Figura 1.- Tipos de escenarios. Adaptado de Borjerson y otros (2006).

2 Una revisión amplia de las diversas clasificaciones de los escenarios atendiendo a diferentes criterios se encuentra en Van Notten y otros (2003), entre las que se identifican criterios de escala espacial (escenarios globales o locales); la escala temporal (escenarios en el corto plazo o en el largo plazo), variables empleadas (cualitativos o cuantitativos), etc..

ceda en un determinado plazo de tiempo, que generalmente suele ser corto (5-10 años). Pueden consistir en **predicciones**, en las que se trata de predecir la evolución del sistema en cuestión en el corto plazo, y con un determinado nivel de probabilidad, o en **escenarios What if?**, que serían grupos de predicciones, en este caso ramificadas en función de la presencia u ocurrencia de ciertas acciones o eventos de gran relevancia.

Aunque estos escenarios se han empleado con profusión en diversas disciplinas, en el contexto de la planificación su aplicación puede ser discutible, dada la dificultad (o incluso imposibilidad) de predecir fenómenos de carácter tan complejo como los procesos urbanos o territoriales (Schwartz, 1991; Bleicic y Cecchini, 2007; Berdoulay, 2009). Y es que en este ámbito, el hecho de poder explicar un fenómeno acontecido en el pasado no implica necesariamente la posibilidad de predecirlo en el futuro (Berdoulay, 2009), por lo que la predicción no tiene tanto sentido (Schwartz, 1991).

Los escenarios exploratorios por su parte, muestran evoluciones **posibles** del sistema en cuestión, que puedan tener lugar en un futuro a corto/medio plazo. Se puede distinguir entre escenarios exploratorios externos y estratégicos, ambos con una importante relevancia en cuanto a su aplicabilidad en la planificación metropolitana:

- Los escenarios **externos** tienen como objetivo mostrar posibles evoluciones de los sistemas (en el caso que nos ocupa, sistemas territoriales/urbanos) como consecuencia de factores que escapan al campo de acción del planificador (aspectos económicos, globales, etc.). Son muy empleados y recomendables en planificación al facilitar la toma de decisiones en diferentes contextos económicos, demográficos, sociales, etc. (Schwartz, 1991; Peterson *et al.*, 2003; Borjerson *et al.*, 2006).
- En lo que respecta a los **estratégicos**, se encuentran regidos por factores internos. Esto implica que las diferencias entre cada escenario estratégico están marcadas por actuaciones, políticas o programas puestos en marcha por el planificador. Así, permiten mostrar posibles resultados o consecuencias de la adopción de decisiones con incidencia territorial por parte del

planificador, como pueden ser la gestión de las bajas densidades, la apuesta por sistemas de transporte público, la protección de espacios y lugares de valor ambiental, el trazado de nuevas infraestructuras de carácter metropolitano, etc.

Los escenarios normativos aplicados a la planificación tienen como objetivo mostrar metas deseables en relación con aspectos ambientales, sociales, económicos, de los territorios, (Dreborg, 2004). Pueden distinguirse dos tipos:

- El primero de ellos está constituido por los **escenarios de optimización**³, que tienen como objetivo alcanzar objetivos deseables a través de ajustes en la situación actual (Marien, 2002; Borjerson *et al.*, 2006). Tratan de buscar las soluciones más eficientes para alcanzar los objetivos establecidos, pero sin que el contexto del escenario suponga una transformación. En el ámbito de la planificación, se relacionan con la búsqueda de la optimización de las propuestas resultado del proceso de planeamiento (Carsjens, 2009). Desde una perspectiva espacial, se encuentran muy en relación con los modelos de localización óptima y las técnicas de evaluación multicriterio y multiobjetivo, generalmente implementados en un Sistema de Información Geográfica (SIG)⁴. La escala espacial de su aplicación va desde la urbana para la localización de proyectos concretos, hasta la localización de desarrollos y propuestas de ordenación metropolitana y subregional.
- El segundo es el de los escenarios de transformación, empleado generalmente bajo el término anglosajón de backcasting. Su diseño comienza con el establecimiento de una imagen futura deseable a alcanzar (o indeseable a evitar), generalmente a un plazo de tiempo medio/largo, para plantear los cambios y transformaciones necesarias que rompan las tendencias que impiden alcanzar dicho objetivo. Estos escenarios presentan una aplicación menos directa a la toma de decisiones en planificación, dado el largo plazo en el que operan (25-50 años), con escalas espaciales subregionales o regionales.

La tabla 1 recoge de forma resumida las características de los diferentes tipos de escenarios.

³ La denominación original para Borjerson y otros (2006) es de *preserving scenarios*, pero se ha preferido el término optimización en español.

⁴ En Thill (1999) es posible encontrar un número elevado y variado de estudios a este respecto.

Escenarios	Subtipo	Descripción aplicabilidad en planificación	Modo pensamiento futuro	Escala Temporal	Escala espacial
ivos	Predicciones	Evolución más probable de algunos factores con incidencia en la planificación (por ejemplo, precio de la vivienda).	Predictivo	Corto Plazo (menos de 5 o 10 años)	Multiescalar
	<i>What if?</i>	Diferentes evoluciones probables de factores con incidencia la planificación en función de la aparición de determinados eventos.		Corto Plazo (menos de 5 o 10 años)	Multiescalar
Exploratorios	Escenarios externos	Evolución posible del sistema territorial en función de factores ajenos a la capacidad de acción del planificador	Exploratorio	Medio Plazo (10-25 años)	Urbana/Subregional/Regional
	Escenarios estratégicos	Evoluciones posibles del sistema territorial en función de decisiones tomadas por el planificador (factores internos)		Medio plazo (10-25 años)	Urbana/Subregional/Regional
Normativos	Escenarios de optimización	Optimización de las propuestas a desarrollar en el proceso de planeamiento.	Normativo	Medio-largo plazo (alrededor de 25 años)	Urbana/ Subregional/ Regional
	Escenarios de transformación	Diseño de planes a largo plazo para la transformación de sistemas territoriales		Largo Plazo (25 - 50 años)	Regional/ Nacional

Tabla 1.- Resumen de las características de los diferentes escenarios en planificación

2.2.- Diseño de Escenarios en Planificación

El proceso de diseño e implementación de los escenarios en el contexto de la planificación ha sido analizado en diversos trabajos como los de Dre-

borg (2004) o Carjsens (2009), en los que se suele sintetizar en varias etapas que incluyen desde una identificación de las temáticas de los escenarios, hasta la elaboración de una descripción más o menos detallada de ellos, generalmente conocida

como *storyline*. Estas etapas, de forma sintética, son las siguientes:

- Identificar las **temáticas principales** sobre las que versarán los escenarios, y que en el ámbito de la planificación territorial pueden ser de lo más diverso. Así, se pueden diseñar escenarios para representar la evolución de los crecimientos metropolitanos (Barredo y Gómez Delgado, 2008; Aguilera, 2008), transformación de los usos del suelo (Pettit y Pullar, 2004; JRC, 2007), transporte público (Shifthan *et al.*, 2003), etc.
- **Determinar los factores motrices o *driving forces*** que pueden **dirigir o marcar la evolución** del comportamiento de los escenarios en cuestión, en relación a su temática concreta. Se trata de aquellas fuerzas o factores económicos, sociales o políticos, pero también podrían ser ambientales, de cohesión, etc., que determinarán la evolución de los escenarios en uno u otro sentido.
- **Diseñar los escenarios futuros** en torno a estos factores o *driving forces*. Los factores motrices se combinarán en cada escenario mediante varias posibilidades: otorgando mayor o menor peso a cada uno de ellos en cada escenario; asignando diferentes procesos de evolución a los factores motrices (incremento, descenso, estabilidad, intensificación, etc.), o mediante una mezcla de ambas. Como resultado de esta combinación, se dispondrá de las principales fuerzas motrices o *driving forces* en cada escenario, así como la tendencia que seguirá cada una de ellas (tabla 2).

- Finalmente, el proceso concluye con una **descripción de los escenarios y su evolución**, desde la situación presente hasta el momento temporal de referencia, en función de la evolución y combinación de las fuerzas motrices. Esta narración ayudará a comprender el contexto del escenario y su discusión con los agentes implicados.

El resultado de este proceso es un conjunto de escenarios (exploratorios o normativos fundamentalmente) que, o bien mostrarán posibles evoluciones de los sistemas territoriales o urbanos, o futuros deseables para dichos sistemas. En la tabla 3 se recogen diferentes trabajos en los que se emplean diversos escenarios sobre diversos aspectos territoriales, señalando sus tipos y principales factores o *driving forces*.

2.3.- Posibles Ventajas de la Aplicación de los Escenarios en Planificación

Desde el enfoque del *spatial scenario planning*, el diseño e implementación de escenarios puede ayudar a mejorar el proceso metodológico de planificación a escala territorial, metropolitana y urbana:

1. Mejora en la **capacidad de adaptación** de los planes entendida desde una doble vertiente: por un lado la capacidad de adaptación a las dinámicas y procesos urbanos y territoriales durante la elaboración inicial del plan (adaptación *ex-ante*), y por otro lado la capacidad de adaptarse a los efectos resultantes de la propia ejecución de dicho plan (adaptación *ex-post*). De esta forma, un plan que contemplase diferentes escenarios exploratorios externos y normativos, podría realizar propuestas y di-

	EJEMPLO DE ESCENARIO 1		EJEMPLO DE ESCENARIO 2		EJEMPLO DE ESCENARIO 3	
	Influencia factor motriz	Evolución factor motriz	Influencia factor motriz	Evolución factor motriz	Influencia factor motriz	Evolución factor motriz
Factor motriz A	Alta	Estabilidad	Alta	Evolución positiva	Baja	Evolución negativa
Factor motriz B	Media	Evolución positiva	Alta	Evolución negativa	Alta	Estabilidad
Factor motriz C	Alta	Evolución positiva	Nula	-	Alta	Evolución positiva
Factor motriz D	Nula	-	Nula	-	Alta	Evolución negativa

Tabla 2.- Ejemplos de escenarios como combinación de diferentes fuerzas motrices, con mayor o menor grado de influencia, y con diferente evolución.

Trabajo	Temática/ Ámbito	Tipo escenarios	Descripción	Driving forces
Barredo y Gómez Delgado (2008)	Crecimiento urbano en la Región Urbana de Madrid (España)	Escenarios exploratorios externos (IPCC)	Escenario A1: Escenario de crecimiento disperso	Crecimiento económico, accesibilidad, restricciones en el planeamiento, crecimiento poblacional, políticas ambientales, formas y patrones de crecimiento, etc.
			Escenario A2: Escenario de crecimiento intenso	
			Escenario B2: Escenario de crecimiento compacto	
	Cambio de usos del suelo en la Bahía de Harvey (Australia)	Escenarios exploratorios externos y normativos	Escenario tendencial	Consideración de criterios ambientales, beneficio económico, aspectos sociales.
			Escenario máx. beneficio económico	
			Escenario normativo de sostenibilidad	
Petrov y otros (2009)	Crecimiento urbano en Algarve (Portugal)	Escenarios exploratorios externos	Tendencia	Desarrollo infraestructuras, protección ambiental, crecimiento económico y poblacional, producción agrícola, etc.
			Crecimiento disperso	
			Crecimiento disperso intenso	
			Crecimiento compacto	
	Cambio en usos del suelo en la Unión Europea	Escenarios exploratorios externos	Escenario de crisis	Concienciación ambiental, crecimiento económico, políticas de ordenación del territorio, cambio climático, evolución de la población, migraciones internas, tecnología agrícola, energías renovables, etc.
			Escenario de innovación	
			Escenario de especialización regional	
			Escenario de desarrollo no colectivo	
			Escenario de desarrollo armónico	
Queensland government (2000)	Planificación de sistemas de transporte para la ciudad de Queensland (Australia)	Escenarios exploratorios externos	Escenario de cambio climático	Crecimiento económico, distribución de la población, evolución sector turístico, regulaciones económicas, concienciación ambiental, evolución calentamiento global, crecimiento poblacional, etc.
			Escenario de elevado crecimiento urbano	
			Escenario de concentración de la población en zonas costeras	
			Escenario de crisis económico	

Tabla 3.- Ejemplos de escenarios empleados en diversos trabajos.

rectrices adaptadas a cada una de las realidades representadas en los escenarios externos para alcanzar las metas establecidas en los escenarios normativos.

Un claro ejemplo en este sentido lo constituyen los planes generales de ordenación urbana redactados recientemente en España, que habiendo previsto calificaciones muy importantes de suelo en el contexto de un fuerte desarrollo residencial, en apenas un año han quedado desfasados en sus

previsiones de crecimiento, dada la gran sobre calificación de suelo generada. El empleo de escenarios externos relacionados con el contexto económico podría, por ejemplo, permitir calificaciones de suelo "por etapas", de acuerdo con el escenario más adecuado, que se determinaría mediante diversos criterios o indicadores.

- Mejora del proceso de **comunicación y participación**, ya que los escenarios futuros pueden ser un instrumento válido para la discusión

con los diferentes agentes/actores territoriales involucrados en el proceso de toma de decisiones (Berdoulay, 2009; Van Vliet *et al.*, 2009). La posibilidad de que los diferentes agentes además participen en el diseño y construcción de los escenarios futuros, por ejemplo mediante la elaboración de escenarios deseables desde su perspectiva, puede facilitar un planeamiento más participativo, que enriquezca enormemente un proceso en ocasiones excesivamente tecnocrático.

3. Mejora de la **capacidad de innovación** de la planificación, entendida como la capacidad del sistema planificador de proponer y utilizar nuevos mecanismos, procedimientos, herramientas y estrategias con las que promover una planificación con menores costes urbanos, sociales y ambientales. Esta capacidad puede incrementarse a través de nuevos enfoques metodológicos como el uso de escenarios y otros instrumentos como los modelos de simulación (ver epígrafe 3) o los sistemas de ayuda a la planificación (Geertman y Stillwell, 2003, 2004; Klosterman y Pettit, 2004).
4. Finalmente, una mejora de la **evaluación del planeamiento** (Oliveira y Pinho, 2009), puesto que la presencia de diferentes escenarios futuros y su representación espacial, puede asociarse a la aplicación de instrumentos de evaluación (Norton, 2008) que permitan valorar los resultados de los diferentes escenarios desde diferentes perspectivas (territorial, socioeconómica, ambiental, productiva, etc.)

A este respecto, desde la perspectiva ambiental, un instrumento de especial interés puede ser la denominada Evaluación Ambiental Estratégica (Serrano, 2006), cuyo enfoque proactivo y proceso continuo podría contribuir a la necesaria vinculación entre planificación y evaluación (Khakee, 1998).

3.- LOS MODELOS DE SIMULACIÓN ESPACIAL EN PLANIFICACIÓN.

El enfoque del *spatial scenario planning*, requiere que los escenarios diseñados y considerados vengán acompañados de representaciones espaciales de los mismos (Stillwell *et al.*, 1999) que

plasmados en el territorio sus características. Actualmente, la mayor parte de las representaciones espaciales futuras en planificación, ya sean propuestas realizadas por el planificador (que pueden ser entendidas como escenarios normativos de optimización) o posibles tendencias de evolución de los sistemas urbanos (entendidas como escenarios exploratorios externos), se realizan o dibujan de una forma generalmente manual⁵, a través de un proceso de diseño intuitivo realizado por el planificador, con mayor o menor intervención de los agentes implicados.

Sin embargo, otra alternativa para llevar a cabo la plasmación espacial de estos escenarios es el empleo de herramientas como los modelos de simulación. Estos modelos, inicialmente desarrollados en el contexto de la revolución cuantitativa de la geografía y de la planificación racional (Berdoulay, 2009), han experimentado en los últimos años un nuevo auge, dando lugar a una nueva ola de interés por la modelización de procesos de carácter territorial y urbano (Benenson y Torrens, 2004), empleando modelos de lo más diverso.

De entre los ámbitos de aplicación de los modelos en relación con el territorio, los modelos para la representación espacial del crecimiento urbano -como uno de los aspectos de mayor relevancia en el plano territorial (Font, 2004; Indovina, 2005)- han cobrado un especial interés. Por ello, a continuación se presentan dos instrumentos de simulación que pueden ser de utilidad en la representación espacial de escenarios futuros. Se trata de los modelos basados en autómatas celulares (AC), y las técnicas de evaluación multicriterio y multiobjetivo. Los primeros son una buena herramienta para explorar posibles evoluciones futuras de los crecimientos urbanos (White *et al.*, 1997; Frankhauser, 1998; Barredo *et al.*, 2003; Couclelis, 2005, Santé *et al.*, 2010), en el contexto de escenarios exploratorios externos. Los segundos pueden ser una herramienta útil en la espacialización de escenarios normativos de crecimiento, a través de la localización óptima las nuevas zonas residenciales, industriales, equipamientos, etc.

5 Ver los trabajos de Botequilha y otros (2006) para observar ejemplos de estos tipos de escenarios cuya representación espacial se realiza de forma manual o dibujada.

3.1.- Los Modelos Basados en Autómatas Celulares para la Simulación Espacial de Escenarios Exploratorios de Crecimiento Metropolitano

Los modelos basados en autómatas celulares han sido descritos y empleados ampliamente como un instrumento adecuado para la representación y simulación espacial de crecimientos urbanos (Batty, 1997; White *et al.*, 1997; Frankhauser, 1998; White y Engelen, 2000; Barredo *et al.*, 2003; Barredo *et al.*, 2004; Couclelis, 2005; Li *et al.*, 2008; Petrov *et al.*, 2009; Santé *et al.*, 2010), especialmente para la simulación de escenarios exploratorios externos de futuros desarrollos urbanos (Barredo y Gómez Delgado, 2008; Aguilera, 2008), destacando además su capacidad para representar diferentes patrones o formas de ocupación urbana (Aguilera, 2008; Valenzuela *et al.*, 2008). Así, mediante su aplicación es posible representar espacialmente escenarios exploratorios externos que reflejen como consecuencia diferentes intensidades de los crecimientos urbanos, diversas formas o patrones de ocupación, distintos niveles de protección ambiental, etc., todo ello en función de la evolución de los factores motrices que controlan el desarrollo de los escenarios.

De manera general, los modelos basados en autómatas celulares empleados en la mayor parte de los trabajos existentes en la materia, no son un autómata celular estricto (Santé *et al.*, 2010), sino que una buena parte de ellos estima un potencial

de crecimiento de los diversos usos urbanos en función de factores como la accesibilidad, la aptitud del territorio para los crecimientos urbanos, la aleatoriedad, y la vecindad (obtenida a través del parámetro de autómatas celulares propiamente dicho)⁶.

Esta estructura (figura 2) ha sido popularizada por los trabajos que emplean el modelo MOLAND (Barredo *et al.*, 2003; Barredo *et al.*, 2004; Barredo y Gómez Delgado, 2008; Petrov *et al.*, 2009), aunque también ha sido empleada en otros (Aguilera 2008; Valenzuela *et al.*, 2008).

Su sencillez le permite ser adaptada con relativa facilidad para representar los futuros posibles establecidos por los escenarios exploratorios externos, a través de la modificación tanto del peso de los diversos parámetros en el modelo, como de la forma de obtener los propios parámetros en sí. A modo de ejemplo, parece lógico pensar que el factor de aptitud para el desarrollo de nuevos crecimientos urbanos se obtendría de forma diferente en un escenario en el que la protección de las áreas de mayor valor agrícola o productivo resultase una prioridad, frente a otro escenario en el que primasen los beneficios económicos de los cambios de uso. Igualmente en un escenario en el que primase el crecimiento en patrones agregados, el factor de vecindad se calcularía de forma diferente a otro caracterizado por crecimientos más dispersos.

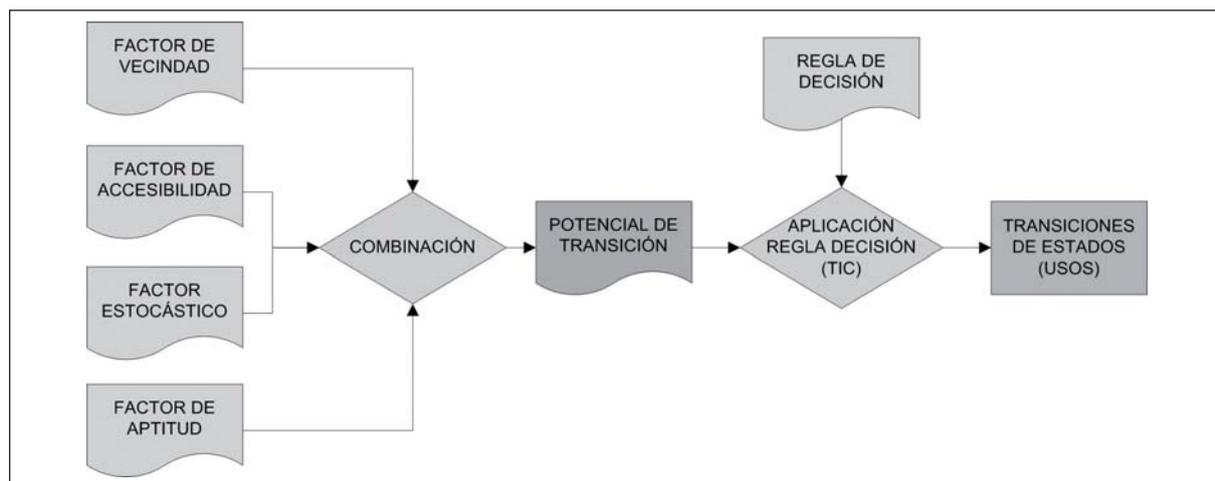


Figura 2.- Esquema del funcionamiento de un modelo de simulación basado en AC

⁶ Una amplia revisión acerca de los diferentes tipos de modelos basados en AC y sus principales características puede consultarse en la revisión realizada por Santé y otros (2010).

Escenario	Driving forces	Descripción cualitativa o Storyline	Implementación a través de parámetros del modelo de AC
		Un mayor grado de innovación favorece el crecimiento de las zonas industriales y terciarias, que se sitúan en los entornos de las vías de transporte metropolitano. Desarrollo reducido de los crecimientos residenciales, puesto que la población crece levemente	<p>Vecindad: Se incrementa el efecto de atracción de la red viaria sobre los crecimientos industriales y terciarios</p> <p>Aleatoriedad: Se reduce para los usos productivos</p> <p>Aptitud: La distancia a carreteras y centros logísticos se introduce en la estimación de la actividad para los usos productivos</p> <p>Accesibilidad: Se incrementa su peso sobre los crecimientos industriales y terciarios</p>
Escenario de incremento de la ocupación residencial	Grado de innovación, crecimiento económico, protección ambiental, políticas de control de la dispersión urbana, incremento de la población	Un contexto económico adecuado y escasas políticas de control favorecen el desarrollo residencial produciéndose un incremento de la ocupación de este uso, a través de crecimientos poco compactos. Estos crecimientos también se ven impulsados por el incremento de la población	<p>Vecindad: Mayor atracción de las redes viarias sobre las zonas residenciales, especialmente de baja densidad</p> <p>Aleatoriedad: Se incrementa el efecto de aleatoriedad para los crecimientos residenciales</p> <p>Aptitud: No se consideran criterios de carácter ambiental en su estimación</p> <p>Accesibilidad: La accesibilidad a las vías principales presenta un mayor peso para los usos residenciales</p>
Escenario de contención del crecimiento urbano		Una mayor protección ambiental unida a políticas de control de la dispersión urbana favorece una ocupación más eficiente del suelo, con una contención especialmente en el ámbito residencial. Crecimiento moderado de la población, absorbido por crecimientos de alta densidad	<p>Vecindad: Incremento del efecto de agregación sobre los usos residenciales</p> <p>Aleatoriedad: Se reduce, especialmente en los crecimientos residenciales</p> <p>Aptitud: se tienen en cuenta aspectos de índole ambiental para determinarla como la protección de aquellos lugares de alto valor ambiental</p> <p>Accesibilidad: El efecto de atracción de la accesibilidad a los nodos de las vías principales se incrementa para los usos productivos</p>

Tabla 4.- Escenarios exploratorios del crecimiento urbano para el área metropolitana de Granada y su implementación a través de un modelo basado en AC.

De esta forma, las fuerzas motrices de los escenarios se pueden traducir en diferentes comportamientos espaciales simulados por modelos de este tipo. La tabla 4 muestra un ejemplo de varios

escenarios exploratorios futuros de crecimiento urbano para un el área metropolitana de Granada), sus *driving forces* y la representación espacial de las mismas a través de un modelo

basado en AC (Aguilera, 2008) con los parámetros anteriormente señalados.

3.2.- Métodos y Técnicas de Evaluación Multicriterio para la Simulación Espacial de Escenarios Normativos

De manera general, se puede afirmar que la Evaluación Multicriterio (y multiobjetivo) es un conjunto de técnicas utilizadas en la toma de decisiones multidimensional para evaluar una serie de alternativas que satisfacen uno o varios objetivos, en función de una serie de criterios predefinidos, y que permitirán conducir a la toma de una decisión final (Malczewski, 1999; Gómez Delgado y Barredo, 2005). En relación con la representación espacial de escenarios, el interés fundamental de la utilización de estas técnicas es la posibilidad de localizar espacialmente las distintas actividades y usos en aquellas zonas que tienen más vocación para albergarlas, ayudando así a la espacialización de escenarios normativos, generalmente de optimización, tratando de buscar soluciones eficientes a corto y mediano plazo. Sin embargo, en los últimos años se han realizado algunos ensayos dentro del campo de los escenarios de transformación, generalmente con la intención de romper tendencias que han venido produciéndose y que no sería deseable seguir proyectando en el futuro (Liu *et al.*, 2007; Ligmann-Zielinska *et al.*, 2008; Plata Rocha *et al.*, 2010b). Es por ello que, por ejemplo, la asignación óptima de usos del suelo (urbano-residenciales, industriales, agrícolas, etc.) sea un campo de amplia aplicación y difusión, siendo determinante el establecimiento de la capacidad de acogida de cada punto del territorio para recibir una actividad.

Su aplicación a la simulación espacial de escenarios normativos comienza con su integración en los instrumentos SIG, a mediados de los años 80, siendo el principal objetivo de esta beneficiosa unión (Jankowski, 1995). Y es que su aplicación conjunta permite resolver de manera satisfactoria, informada y consensuada los procesos de localización espacial de escenarios normativos, como lo demuestra el elevado número de trabajos que podemos encontrar en la literatura, y también por el aumento de aplicaciones prácticas en los últimos años por parte de determinadas instituciones o administraciones (Borouhaki y Malczewski, 2010).

A este respecto, uno de los campos más prolíficos de aplicación ha sido tradicionalmente la localiza-

ción de distintos equipamientos e instalaciones, deseables o no deseables que la población no siempre está dispuesta a aceptar cerca de sus lugares de residencia o demasiado lejos (Erkut y Moran, 1991; Siddiqui *et al.*, 1996; Bosque Sendra *et al.*, 1999, Malczewski y Jackson, 2000).

Otro de los campos más explorados, ya desde mediados de los años 90, ha sido la asignación óptima de usos urbanos y residenciales, individualmente o en combinación con otros usos (Barredo, 1996; Svoray *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2007; Ligmann-Zielinska *et al.*, 2008; Lamelas Gracia, 2009; Plata Rocha *et al.*, 2010a). Aunque también son muy abundantes los casos en los que son utilizados para simular escenarios normativos de localización de usos del suelo: industriales, agrícolas, desarrollos forestales, preservación de recursos naturales, etc. (Janssen y Rietveld, 1990; Dai *et al.*, 2001; Store y Kangas, 2001; Phua y Minowa, 2005; Carmo Giordano y Setti Riedel, 2008; Rezaei-Moghaddam y Karami, 2008; Vía García y Muñoz Municipio, 2008).

Así, a pesar de que estas herramientas han sido muchas veces criticadas por su alta dosis de subjetividad, han servido en múltiples trabajos para lograr un consenso entre los distintos agentes implicados en este tipo de procesos de planificación, precisamente por permitir combinar información objetiva procedente de estimaciones cuantitativas, investigaciones sistemáticas, etc., con la información subjetiva que representa las opiniones (preferencias, prioridades, juicios) de los grupos de interés y de los centros de decisión (Lamelas Gracia, 2009). Otra de las ventajas es la posibilidad de utilizar múltiples criterios (medioambientales, territoriales, socioeconómicos, etc.) que permitan abarcar todas las dimensiones a considerar en escenarios normativos de sostenibilidad.

Todo ello dota a estas técnicas de amplias posibilidades para simular escenarios óptimos y sostenibles de desarrollo urbano futuro. Un buen ejemplo lo constituyen los trabajos de Plata Rocha y otros (2010a), que presentan un escenario normativo sostenible de crecimiento urbano futuro en la Comunidad de Madrid. Una vez diseñado el marco descriptivo de ese escenario (que culmina con la realización de su *storyline*), se plantearon un conjunto de factores que permitiesen reproducir espacialmente esa descripción (tabla 5). La selección final de factores y su ponderación estuvo sujeta a la opinión de expertos, así como a los resultados de un análisis exhaustivo y cuantitativo de lo que ha sucedido en el pasado. Los resultados

obtenidos demuestran que es posible reproducir imágenes de futuro que pueden ayudar a todos los agentes implicados en un proceso de planificación regional a 30 ó 50 años vista.

No obstante, las posibilidades que estas técnicas ofrecen en la modelación de escenarios futuros de desarrollo urbano no han sido todavía suficientemente explotadas. Estudios recientes han demostrado que es posible simular con estas técnicas otros escenarios con diferente comportamiento espacial del desarrollo urbano (Plata Rocha *et al.*, 2010b). Al igual que con otras técnicas utilizadas en este tipo de trabajos, es posible simular escenarios exploratorios externos partiendo de una base bastante completa de factores que permiten abordar todos los aspectos relevantes del problema y otorgar mayor o menor importancia a cada uno de ellos en función del escenario que se pretenda plantear (de crecimiento continuo, de recesión por motivos de crisis, etc.).

4.- DISCUSIÓN: HACIA UNA METODOLOGÍA DEL SPATIAL SCENARIO PLANNING EN LA PLANIFICACIÓN

Los instrumentos del *spatial scenario planning* (escenarios y modelos) anteriormente descritos, de acuerdo con las ventajas descritas y a la luz de los argumentos expuestos, pueden ser un instru-

mento útil a integrar en el proceso metodológico de elaboración de planes territoriales, metropolitanos o urbanos. A continuación se discute una aproximación a un esquema metodológico de integración de estos instrumentos en el proceso de planificación, que podría resumirse en las siguientes etapas:

Fase 1: Definición y alcance del plan. Análisis de los factores motrices:

En primer lugar se propone la realización de un análisis de los principales factores motrices que dirigen o pueden dirigir los cambios en aquellos aspectos de su interés. Así, en el contexto de un plan general de ordenación urbana en el que se abordan, entre otros aspectos, la localización de los nuevos crecimientos urbanos necesarios (residenciales industriales, dotacionales, etc.), el análisis de los factores motrices se podría dirigir al estudio de aquellos que pueden tener una incidencia en el control de dichos crecimientos, como puede ser el contexto económico, las preferencias de los diferentes stakeholders, la protección de valores ambientales, etc.

Fase 2: Diseño de escenarios exploratorios y escenario normativo.

A partir del análisis de los factores motrices es posible plantear el diseño de los escenarios fu-

Escenario Normativo	Descripción cualitativa o <i>Storyline</i>	Factores en los que se basa la simulación espacial
	<p>Búsqueda de nuevas fórmulas de crecimiento y diversificación económica: el crecimiento de zonas residenciales se contiene e intenta ocupar vacantes existentes en el tejido residencial existente y se generan nuevas zonas productivas con un tejido empresarial de innovación</p>	<p>Los nuevos desarrollos urbanos se localizarán sobre los terrenos con menor valor ambiental y económico, sobre los suelos menos productivos, procurando no afectar a los mantos acuíferos, sobre terrenos de escasa pendiente y sin problemas de tipo geotécnico, con una orientación que asegure la confortabilidad climática. Se procurará que estos desarrollos se encuentren accesibles respecto a las vías de comunicación, zonas urbanas preexistentes, hospitales y procurando una cierta mezcla de usos residenciales, comerciales e industriales (no contaminantes). Finalmente, y como en los casos anteriores, Se procurará que las nuevas zonas comerciales se localicen cerca de las zonas con más población con poder adquisitivo y las zonas industriales lejos de zonas con mayor población vulnerable.</p>

Tabla 5.- Escenario normativo de crecimiento urbano y factores implicados en la simulación espacial a partir de técnicas de evaluación multicriterio.

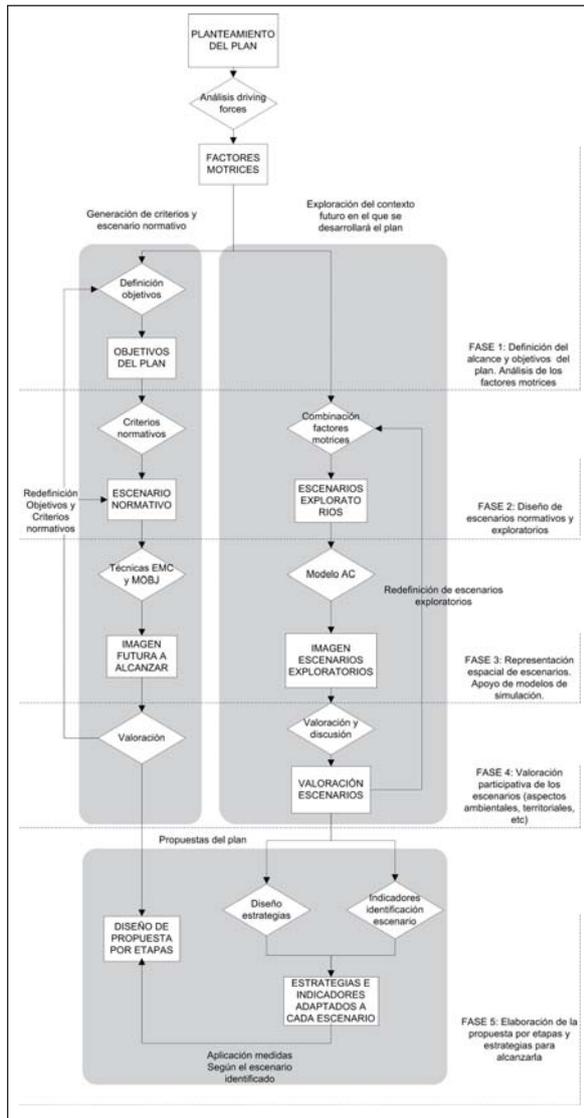


Figura 3.- Metodología de implementación del spatial scenario planning en el proceso de planificación.

turos, tanto exploratorios externos como de un escenario normativo, este último a partir de la definición de los objetivos del propio plan. Así, el escenario normativo tratará de optimizar en una primera tentativa el diseño de aquellos aspectos abarcados por el plan, empleando un conjunto de criterios normativos o deseables. Por su parte, los escenarios exploratorios externos mostrarán posibles evoluciones de los aspectos abarcados por el plan motivadas por cambios en los factores motrices.

Fase 3: Representación espacial de escenarios. Apoyo de modelos de simulación

La representación espacial de los escenarios futuros es uno de los puntos centrales del *spatial scenario planning*. En lo que respecta al es-

cenario normativo o de propuesta diseñado, es posible representarlo espacialmente aplicando los instrumentos basados en la EMC y decisión multiobjetivo. Se podría mostrar así, por ejemplo, aquellos lugares más adecuados para la ubicación de nuevos desarrollos, áreas a proteger, zonas de mayor valor productivo, etc.

En lo que respecta a los escenarios exploratorios, empleando instrumentos como los AC, se podrían representar espacialmente aquellos cambios consecuencia de la evolución de los factores motrices sin la intervención del planificador. Este hecho, además de aportar cartografías de evolución de los sistemas objeto del plan, permitiría avanzar en el propio conocimiento de dichos sistemas mediante su simulación y representación (Benenson y Torrens, 2004).

Fase 4: Valoración de los escenarios.

Tanto los escenarios exploratorios como el escenario normativo representados espacialmente, pueden ser evaluados desde diversas perspectivas (económica, ecológica, productiva, de salud ambiental, dotacional), con objeto de identificar tanto posibles inconsistencias en el diseño y representación de los criterios normativos, como las posibles consecuencias de las evoluciones marcadas por los escenarios exploratorios. Este proceso de valoración debería además ser participado por parte de los agentes implicados en el proceso de planeamiento, de tal forma que pueda retroalimentarse el proceso de definición y localización espacial de los criterios normativos y conocer las posibles consecuencias negativas/positivas de los cambios introducidos en los escenarios exploratorios.

Fase 5: Elaboración de las propuestas del plan. Diseño por etapas y estrategias adaptadas a diferentes escenarios.

Finalmente, tras la valoración de los escenarios, se podría abordar la realización de propuestas del plan. Estas consistirían tanto en la representación de un diseño espacial (a una escala de mayor detalle, que requerirá un indispensable trabajo de dibujo de las propuestas) que tome como base los resultados obtenidos de las representaciones espaciales de los escenarios; así como en el diseño de un conjunto de estrategias que permitan alcanzar dicho diseño en el contexto de los diferentes escenarios exploratorios. Estas estrategias, permitirán cambiar las tendencias negativas detectadas en la valoración de los escenarios exploratorios para conducirlos hacia el diseño propuesto.

Una forma de favorecer el alcance de la propuesta, en el contexto de diferentes escenarios hipotéticos o exploratorios, es la realización de un plan por etapas, partiendo de la idea de que si la propuesta o escenario normativo se organiza en diferentes etapas de desarrollo (tanto en la dimensión espacial como en la de gestión del plan), en el contexto de un determinado escenario hipotético (exploratorio), puede ser más fácil alcanzar una etapa inicial de desarrollo de dicha propuesta, mientras que en el contexto de otro escenario exploratorio puede ser una de mayor desarrollo.

Las demandas de crecimiento estimadas en un plan constituyen un ejemplo paradigmático a este respecto. Así, mientras que en un escenario exploratorio podían ser necesarios altos crecimientos (fuerte crecimiento económico, inmigración alta, etc.), en otro pueden mantenerse bajas las demandas (crisis, escasez de inversión...). Un plan diseñado por etapas podría responder mejor ante diferentes escenarios como los descritos, de tal modo que en caso del primer escenario sería necesario alcanzar una etapa de mayor desarrollo de la propuesta, con mayores crecimientos, mientras que en el segundo bastaría con alcanzar una etapa más inicial (figura 4).

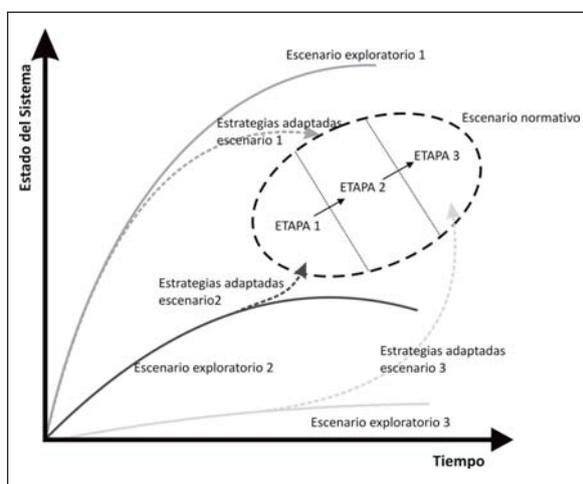


Figura 4.- Estrategias adaptadas a escenarios exploratorios para conducirlos hacia la etapa más adecuada del escenario normativo.

Finalmente, completaría el desarrollo del plan el diseño de un sistema de indicadores que permitiese identificar el escenario que se asemeja mejor a la realidad existente y por tanto seleccionar aquellas estrategias más adecuadas para alcanzar la propuesta.

5.- CONCLUSIONES

Escenarios y modelos de simulación espacial constituyen los principales instrumentos de lo que se ha denominado *spatial scenario planning*, cuya utilidad en los procesos de planificación ha sido presentada y discutida a lo largo del presente artículo. Y es que a pesar de ser instrumentos escasamente empleados en el contexto español de la planificación y ordenación del territorio, se encuentran ampliamente presentes en otras culturas del *planning* europeas (CULTPLAN, 2006).

En este sentido, el presente trabajo muestra una revisión sintética de algunos de los principales modelos y escenarios aplicables y de interés en el ámbito de la planificación, así como una discusión que muestra una tentativa de aproximación metodológica a una posible integración de estos instrumentos en el proceso de toma de decisiones en planificación, incorporando un componente más estratégico. No obstante, este proceso de integración no es sencillo dada la dificultad que presentan algunos de los instrumentos presentados, tales como los modelos de simulación que dificultan su empleo por parte, tanto de los planificadores, como por los *stakeholders* que tomen parte en el proceso.

Por ello, no se trata de un esquema metodológico de integración estricto, sino que debe ser entendido como un marco abierto, que facilite el empleo de cualquiera de los instrumentos descritos en la toma de decisiones. Así, el empleo de escenarios, de una implementación probablemente más sencilla, pueden en buena parte solventar algunos de los problemas señalados, como la falta de adaptación de los diferentes planes a una realidad marcada por la incertidumbre, o la mayor posibilidad de participación de los agentes en el proceso de toma de decisiones.

En cualquier caso, la presentación aquí discutida sobre modelos de simulación y escenarios como instrumentos diferenciados y a su vez complementarios, puede clarificar el marco conceptual en el que se utilicen, tanto desde la perspectiva académica como profesional. A este respecto, especialmente relevante resulta la presentación de los diferentes tipos de escenarios en relación a los diferentes modos de pensamiento futuro y a su aplicabilidad en el contexto de la toma de decisiones en planificación, unido a una descripción de los modelos más adecuados para su simulación, lo que podría ayudar a clarificar un

ámbito del conocimiento poco explorado en el contexto de la planificación en España.

6.- AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco del proyecto de I+D+i "SIMURBAN: Análisis y simulación prospectiva mediante TIG del crecimiento urbano actual. Evaluación de su sostenibilidad", financiado por el M.E.C. (referencia SEJ2007-66608-C04- 00/ GEOG).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, F. (2008). *Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la Aglomeración Urbana de Granada*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Alfasi, N. y Portugali, J. (2004). Planning Just-in-time versus planning Just-in-Case. *Cities* 21: 29-39.

Barredo, J.I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Editorial Ra-Ma.

Barredo, J.I., Kasanko, M., McCormick, N. y Lavalle, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning* 64: 145-160.

Barredo, J.I., Demicheli, L., Lavalle, C.; Kasanko, M.; McCormick, N. (2004). Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria. *Environment and Planning B: Planning and Design* 32: 65-84.

Barredo, J.I. y Gómez Delgado, M. (2008). Towards a set of IPCC SRES urban land use scenarios: modelling urban land use in the Madrid region. *Modelling Environmental Dynamics*. (M. Paegelow y M.T. Camacho, Eds). Berlin, Springer-Verlag:363-390.

Batty, M. (1997). Urban Systems as Cellular Automata. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 159-164.

Benenson, I. y Torrens, P. (2004). *GEOSIMULATION: Automata-based modelling of urban phenomena*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons

Berdoulay, V. (2009). La historia de la Geografía en el desafío de la prospectiva. *Boletín de la A.G.E.* 51: 9-23.

Blecic, I. y Cecchini, A. (2008). Design beyond complexity: Possible futures—Prediction or design? (and techniques and tools to make it possible). *Futures* 40: 537-551.

Borjerson, L.; Hojer, M.; Dreborg, K.H.; Ekvall, T. y Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures* 38: 723-739.

Borouhaki, S. y Malczewski, J. (2010). Measuring consensus for collaborative decision-making: a GIS-based approach. *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (4): 322-332.

Bosque Sendra, J.; Díaz Muñoz, M.A.; Gómez Delgado, M.; Rodríguez Espinosa, V.M.; Rodríguez Durán, A.E. y Vela Gayo, A. (1999). Un procedimiento, basado en un SIG, para localizar centros de tratamiento de residuos. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 19: 295-323.

Carmo Giordano, L. y Setti Riedel, P. (2008). Multi-criteria spatial decision analysis for demarcation of greenway: a case study of the city of Rio Claro, Sao Paulo, Brazil. *Landscape and urban planning* 84: 301-311.

Carsjens, G.J. (2009). *Supporting Strategic Spatial Planning. Planning Support Systems for the spatial planning of metropolitan landscapes*. Tesis Doctoral, Universidad de Wageningen.

Chermack, T. J., y Van der Merwe, L. (2003). The role of constructivist learning in scenario planning. *Futures* 35(5): 445-460.

Couclelis, H. (2005). Where has the future gone? Rethinking the role of integrated land-use models in spatial planning. *Environment and Planning A* 37: 1353 -1371.

CULTPLAN (2006). *Planning cultures in Europe*. CULTPLAN Project Status Report, 2005.

Dai, F.C; Lee, C.F. y Zhang, X.H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering geology* 61: 257-271.

Dreborg, K.H. (2004). *Scenarios and structural uncertainty: explorations in the field of sustainable*

transport. Tesis doctoral. Real Instituto Tecnológico de Estocolmo.

EEA (2007): PRELUDE PROJECT (Prospective Environmental analysis of Land Use Development in Europe.

ESPON PROJECT 3.2 (2006). Spatial Scenarios and Orientations in relation to the ESDP and Cohesion Policy. Final Report.

Erkut, E. y Moran, S.R. (1991). Locating obnoxious facilities in the public sector: an application of the analytic Hierarchy process to municipal landfill siting decisions. *Socio-economic planning* 25 (2): 89-102.

Faludi, A. (2000). The performance of Spatial Planning. *Planning Practice & Research* 15 (4): 299-318.

Faludi, A. y Van der Valk, A. (1994). Rule and Order. Dutch planning doctrine in the Twentieth Century. Kluwer Academic Press. Dordrecht.

Frankhauser, P. (1998): Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2: 127-145.

Font, A. (2004). L'explosió De La Ciutat. Barcelona, COAC i Fòrum Universal de les Cultures de Barcelona.

García Bellido, J. (2002). Hacia un nuevo control democrático de la planificación territorial: la evaluación ambiental estratégica de planes y programas. *Ciudad y territorio: Estudios territoriales* 132: 219-226.

Geertman, S. y Stillwell, J. (2003). *Planning Support Systems in Practice*. Heidelberg, Springer-Verlag.

Geertman, S. y Stillwell, J. (2004). Planning support system: an inventory of current practice. *Computers, Environment and Urban Systems* 28: 291-310.

Gómez Delgado, M. y Barredo J.I. (2005). *Sistemas De Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Paracuellos de Jarama, Editorial Ra-Ma.

Indovina, F. (2005). *L'esplosione della città*. Bologna, Ed Compositori.

Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (3): 251-273.

Janssen, R. y Rietveld, P. (1990). Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the Netherlands, *Geographical information systems for urban and regional planning* (H.J. Scholten y J.C.H. Stillwell, Eds.). Kluwer, GeoJournal Library: 129-139.

Khakee, A. (1998). Evaluation and Planning: Inseparable Concepts *Town Planning Review* 69(4): 359-74.

Klosterman, R.E y Pettit, C. (2005). An update on planning support systems. *Environment and Planning B* 32: 477-484.

Lamelas Gracia, M.T. (2009). Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus*, 9: 28-66.

Li, X; Yang, Q y Liu, X. (2008). Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. *Landscape and Urban Planning* 86: 177 - 186.

Ligmann-Zielinska, A.; Church, R.L. y Jankowski, P. (2008). Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation. *International Journal of Geographical Information Science*. 22 (6): 601-622.

Liu, Y.; Lv, X.; Qin, X.; Guo, H.; Yu, Y.; Wang, J. y Mao, G. (2007). An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe, *Landscape and urban planning*, 82: 233-246.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Malczewski, J. y Jackson, M. (2000). Multicriteria spatial allocation of educational resources: an overview, *Socio-economic planning sciences* 34: 219-235.

Marien, M. (2002). Future Studies in the 21st Century: a reality based view. *Futures* 34: 261 -281.

Norton, R. (2008). Using content analysis to evaluate local master plans and zoning codes. *Land Use Policy* 25: 432-454.

- Oliveira, V. y Pinho, P. (2009). Evaluating Plans, Processes and Results. *Planning Theory & Practice* 10 (1): 35-63.
- Peterson, G.D.; Cumming, G.S. y Carpenter, S.R. (2003). Scenario Planning: a tool for conservation in an uncertain world. *Conservation biology* 17 (2): 358-366.
- Petrov, L; Lavalle, C y Kasanko, M. (2009). Urban land use scenarios for a tourist region in Europe: Applying the MOLAND model to Algarve, Portugal. *Landscape and Urban Planning* 92 (1): 10-23.
- Pettit, C. y Pullar, D. (2004). A way forward for land use planning to achieve policy goals by using spatial modeling scenarios. *Environment and Planning B: Planning and Design* 31: 213-233.
- Phua, M. y Minowa, M. (2005). A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning* 71: 207-222.
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M.; y Bosque Sendra, J. (2010a). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, *Geofocus* 10: 103-134.
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M.; y Bosque Sendra, J. (2010b en revisión). Simulating urban growth scenarios using GIS and Multicriteria Evaluation techniques. Case study: Madrid Region, Spain, *Environment and Planning B: Planning and Design*.
- Prato, T. (2007). Evaluating land use plans under uncertainty. *Land Use Policy* 24: 165-174.
- Queensland Government (2000). Transport Portfolio Scenario-Based Planning for the Queensland Department of Transport and the Queensland Department of Main Roads 2000 - 2025. Queensland State (Australia).
- Rezaei-Moghaddam, K. y Karami, E. (2008). A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP, *Environment, Development and Sustainability*, 10: 407-426.
- Santé. I.; García, A.M; Miranda, D. y Crescente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning* 96: 108-122.
- Schwartz, P. (1991). The art of the long view: Planning for the future in an uncertain World. Doubleday. New York.
- Serrano, A. (2006). Evaluación ambiental estratégica (EAE) del programa AGUA en las cuencas mediterráneas. Ciudad y territorio: Estudios territoriales 149-150: 573-606.
- Shifan, Y., Kaplan, S., y Hakkert, S. (2003). Scenario building as a tool for planning a sustainable transport system. *Transportation Research Part D* 8: 323-342.
- Siddiqui, MZ.; Everett, JW. y Vieux, BE. (1996). Landfill siting using Geographic Information Systems: a demonstration, *Journal of Environmental Engineering* 122: 515-523.
- Stillwell, J., Geertman, S. y Openshaw, S. (Eds) (1999). *Geographical information and planning*, Heidelberg, Springer Verlag.
- Store, R. y Kangas, J. (2001). Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling, *Landscape and urban planning* 55: 79-93.
- Svoray, T.; Bar, P. y Bannet, T. (2005). Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: habitat heterogeneity model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism, *Landscape and Urban Planning* 72: 337-351.
- Thill, J.C. (1999). *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis. A geographic information sciences approach*. Aldershot, Ashgate Publishing Ltd.
- Van Notten, P.W.F., Rotmans, J; Van Asselt, M.B.A. y Rothman, D.S. (2003). An updated scenario typology. *Futures* 35: 423- 443.
- Van Vliet, M., Kok, K. y Veldkamp, T. (2009). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures* 42: 1-14.
- Valenzuela, L.M; Aguilera, F; Soria, J.A y Molero, E. (2008). Creation and evaluation of development scenarios for metropolitan patterns. *Modelling Environmental Dynamics* (M. Paegelow y M.T. Camacho Eds.). Springer-Verlag, Berlin: 339-362.

Vía García, M. y Muñoz Municio, C. (2008). Propuesta de nuevos espacios protegidos en la Comunidad de Madrid a partir de metodologías multicriterio flexibles, Tecnologías de la Información Geográfica para el desarrollo territorial (L. Hernández y J.M. Parreño Eds.). Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de publicaciones y difusión científica de la ULPGC: 791-805.

White, R.; Engelen, G; Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 323-343.

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.