

Carrero, R., Navas, F., Malvárez, G. y Cáceres, F. (2010): Aplicabilidad de las TIG en la generación de escenarios de futuro para una gestión integrada de las zonas costeras. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 716-727. ISBN: 978-84-472-1294-1

## APLICABILIDAD DE LAS TIG EN LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO PARA UNA GESTIÓN INTEGRADA DE LAS ZONAS COSTERAS

Carrero, R.<sup>1</sup>, Navas, F.<sup>1</sup>, Malvárez, G.<sup>1</sup> y Cáceres, F.<sup>2</sup>

(1) Universidad Pablo de Olavide. Ctra. de Utrera, Km1, 41013, Sevilla (fnavcon@upo.es)

(2) Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Avenida Manuel Siurot 50. 41013, Sevilla

### RESUMEN

Para una planificación y gestión coherente de las zonas costeras es fundamental que exista una profunda comprensión de las interacciones entre el hombre y el medio físico, siendo preciso integrar la información sobre el conocimiento del medio natural aportada por las diferentes disciplinas científicas, junto con la información del contexto socio-económico, normativo y cultural. Por tanto, la toma de decisiones en los espacios litorales debe apoyarse en instrumentos interdisciplinares, capaces de operar con distintos tipos de datos y abordar situaciones complejas e impredecibles.

La simulación de escenarios es una importante herramienta para evaluar desarrollos futuros en sistemas complejos y dinámicos que poseen un número alto de incertidumbres, y por ello es una técnica muy adecuada para la gestión de las zonas costeras. Los escenarios permiten integrar modelos socioeconómicos con modelos físicos, químicos o biológicos, reflejar una amplia gama de tendencias y dinámicas, y trabajar con distintas escalas temporales y espaciales.

En el presente artículo se examina el uso actual y el potencial de las TIG en la generación de escenarios de futuro para la gestión integrada de las zonas costeras. Para ello se ha realizado un análisis de su aplicabilidad de las TIG, identificando en qué fases de la elaboración de escenarios se pueden utilizar. Los resultados indican que estas tecnologías tienen un alto potencial y son aplicables en todas las fases de la generación de los escenarios. Una de las fortalezas identificadas es que las TIG incrementan la transparencia y fiabilidad de la generación de escenarios de futuro facilitando los procesos equitativos y participativos de negociación, toma de decisiones y planificación en las zonas costeras.

Palabras Clave: gestión integrada de zonas costeras, escenarios de futuro, Tecnologías de la Información Geográfica, procesos participativos

### ABSTRACT

*To achieve a coherent planning and management of coastal areas it is necessary having a deep understanding of the interactions existing between human-being and the physical environment, integrating information from different scientific disciplines (hydrology, morphodynamics, soil science, ecology, etc.) and socio-economic, normative and cultural context information. Therefore decision-making in coastal areas must be based on interdisciplinary*

*instruments capable of working with different type of data and dealing with complex and unpredictable situations.*

*Scenario-making is one of the most important tools for assessing future developments in complex and dynamic systems which have a high number of uncertainties; thus it is a very suitable approach for coastal zone management. Scenarios can integrate socio-economic models with physical, chemical or biological models, reflect a broad range of trends and dynamics, and work with different temporal and spatial scales.*

*In this paper the current and potential use of Geographical Information Technologies (GIT) is examined in the generation of future scenarios for an integrated management of coastal areas. An analysis of the applicability of the GIT has been done, identifying at which stage of scenario development GIT can be used. The results indicate that GIT have great potential and are applicable at all stages of the scenarios generation. One of the strengths identified is that GIT increase the transparency and reliability of the generation of future scenarios and facilitate equitable and participatory processes of negotiation, decision making and planning in coastal areas.*

*Key Words: integrated coastal zone management, future scenarios, Geographical Information Technologies, participatory processes.*

## INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son sistemas naturales de gran dinamismo donde confluyen fuertes intereses socioeconómicos. A lo largo del siglo XX las costas de todo el mundo han cambiado drásticamente debido a presiones antrópicas asociadas al crecimiento económico y poblacional (Buddemeier et al., 2002). Fenómenos como la intensificación de la agricultura, los procesos de urbanización, el aumento de las infraestructuras, o la expansión industrial, están dejando una profunda huella en las áreas litorales (EC, 2004). Por todo ello se considera una afirmación cada vez más extendida que la presión medioambiental en la costa crece rápidamente a escalas que van desde la destrucción local de ecosistemas completos a, entre otras amenazas, la subida global del nivel del mar (Navas y Malvárez, 2009). A estas amenazas habría que sumar el cambio climático, cuyos efectos asociados (aumento de fenómenos extremos, retroceso de la línea de costa, inundación de las costas bajas, etc.) podrían afectar a las zonas costeras en el medio-largo plazo, causando numerosos daños.

Para hacer frente a las crecientes presiones y desafíos a los que se enfrentan las zonas costeras en las últimas décadas, la necesidad de adoptar un enfoque integrado para la gestión del litoral ha sido reconocida internacionalmente (IPCC, 1994; UNEP, 1995; FAO, 1998; CEE, 2000; PNUMA, 2008). La gestión integrada de las zonas costeras (GIZC) se fundamenta en una perspectiva holística, flexible, a largo plazo y capaz de adaptarse a eventos imprevistos que puedan aparecer en el futuro, que se base en unos profundos conocimientos del medio biofísico, así como en el conocimiento del marco institucional, normativo y político y permita la participación de los agentes sociales y de todas las administraciones involucradas (EC, 1999; Atkins, 2004). De acuerdo a estos principios y para la planificación y gestión coherente de las zonas costeras, se hace necesario el uso de instrumentos interdisciplinarios capaces de integrar la información sobre el conocimiento del medio natural aportada por las diferentes disciplinas científicas, junto con la información del contexto socio-económico, normativo y cultural, y que sean a su vez instrumentos capaces de abordar situaciones complejas e impredecibles. Una de las herramientas que mejor se ajusta a estos objetivos es la generación de escenarios de futuro.

Los escenarios de futuro pueden definirse como descripciones verosímiles sobre cómo puede desarrollarse el futuro, basadas en una serie de hipótesis coherentes sobre las fuerzas motrices y sus relaciones (Nakicenovic et al., 2000) ilustrando el desarrollo de varios futuros alternativos y posibles que pueden ocurrir en la zona de estudio (Carpenter, 2005). Los escenarios pueden hacer aportaciones importantes en los procesos de toma de decisiones (Nicholls et al., 2008; Tress y Tress, 2003).

El uso formal de los escenarios con fines de planificación y análisis se remonta a finales de los años 50 y principios de los 60, cuando una serie de centros de investigación pioneros (Stanford Research Institute, Instituto Hudson, y la Corporación RAND), emprendieron un conjunto de estudios diseñados para fomentar los sistemas de pensamiento holístico sobre el futuro (Thomas, 1994; Chermack et al., 2001). La aplicación de los escenarios para cuestiones medioambientales aparece a comienzos de la década de 1970 (Meadows et al., 1972). Desde entonces los estudios de escenarios se han utilizado para analizar todo tipo de situaciones a distintas escalas, desde la sostenibilidad global hasta cuestiones ambientales muy específicas a escala regional. Los ejemplos más conocidos de estudios de escenarios incluyen el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IPCC, 2000), el Global Environment Outlook (PNUMA, 2002) y la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (WRI, 2005). Estos estudios se han tomado como referencia por numerosas naciones y organizaciones mundiales, adaptando los escenarios a su

escala de gestión.

Los escenarios de futuro se perfilan como un instrumento muy valioso para la gestión costera, ya que pueden proporcionar un marco interdisciplinar para el análisis de problemas ambientales complejos en sistemas dinámicos que poseen un alto número de incertidumbres, y visualizar soluciones a estos problemas, combinando la información procedente de numerosas fuentes y disciplinas.

Además, la generación de escenarios permite (Peterson et al., 2003):

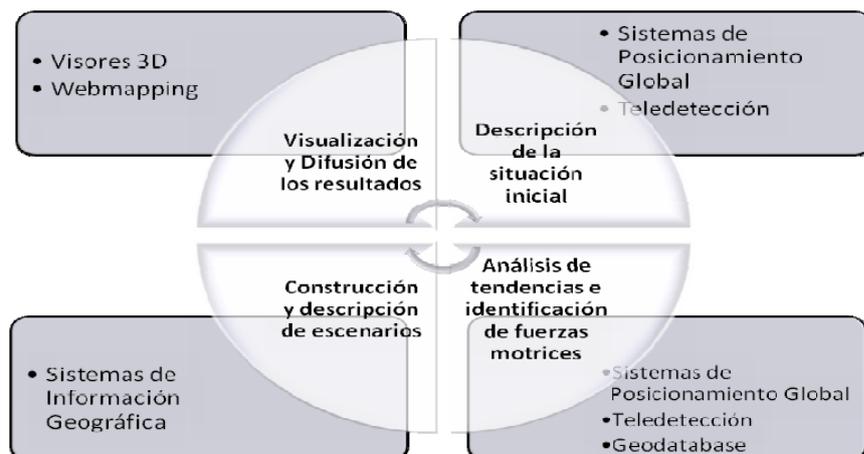
- dar una idea de los futuros estados alternativos del medio costero en ausencia de las políticas ambientales adicionales (denominados "baseline scenarios");
- ilustrar cómo las vías alternativas de una política puede, o no, lograr un objetivo medioambiental;
- organizar y comunicar una gran cantidad de información compleja sobre la evolución futura de un problema ambiental;
- aumentar la concienciación sobre la aparición de nuevos problemas;
- dar un enfoque participativo y abierto que brinda la oportunidad a los interesados a intervenir en el desarrollo de las políticas públicas. En la generación de escenarios se puede promover la implicación de los agentes sociales desde el principio hasta el final del proceso de una manera organizada y estructurada, a través de innovadoras técnicas participativas que promueven la deliberación y el consenso.

## APLICACIÓN DE LAS TIG EN LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO

No existe una metodología única para la generación de escenarios de futuro. Los escenarios se pueden construir utilizando técnicas cuantitativas, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas, o usando únicamente métodos cualitativos (EEA, 2007). Tradicionalmente se ha reservado el uso de las TIG para procesos de modelización, no siendo su uso tan extendido en la generación de escenarios de futuro, en parte porque la generación de escenarios se sustenta a menudo y de forma exclusiva en métodos cualitativos. No obstante, todos los tipos de escenarios pueden alcanzar un nivel mayor de aceptación científica si cumplen dos condiciones importantes del método científico: transparencia y reproducibilidad (Alcamo, 2008).

Sin embargo, los métodos cuantitativos y cualitativos no tienen porqué ser excluyentes en la generación de escenarios, y menos aún en el caso de escenarios aplicados a la investigación en zonas costeras. Aunque no es frecuente, las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) se pueden usar como instrumento de apoyo en todas las fases metodológicas de la generación de escenarios de futuro.

En los estudios de escenarios se suelen diferenciar cuatro fases: a) caracterización de la situación inicial, b) análisis de tendencias e identificación de fuerzas motrices, c) generación y descripción de escenarios, y d) visualización y difusión de los resultados. A continuación se analiza la aplicabilidad de las TIG en cada una de estas fases de la generación de escenarios y las ventajas que presentan, que se resume en el esquema mostrado en la Figura 1. Este análisis se ha ejecutado mediante la revisión bibliográfica de proyectos y estudios de generación de escenarios en distintas disciplinas y a diferentes escalas, que ha permitido realizar un repaso general y aportar ejemplos de aplicación de las TIG en cada fase.



**Figura 1.** Aplicación de las TIG en las distintas fases de la generación de escenarios. Las fases están representadas en la parte central circular del esquema.

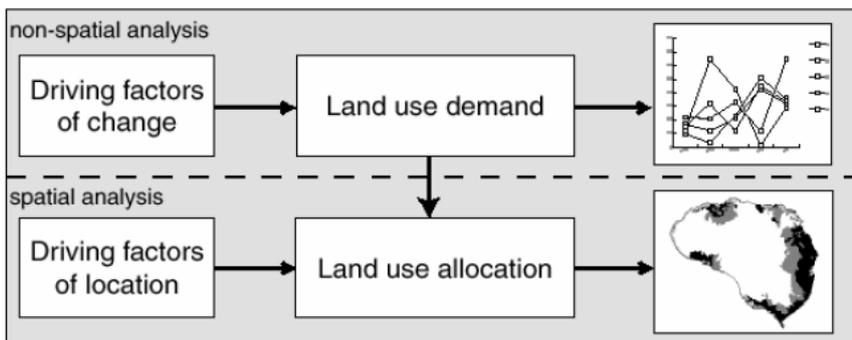
### a) Caracterización de la situación inicial

La descripción de la situación inicial es el primer paso en la generación de escenarios (Alcamo y Henrichs, 2008). En esta primera fase de estudio se recoge toda información necesaria para caracterizar la zona de estudio de acuerdo con el objetivo del trabajo. Una de las formas más fiables, útiles y rápidas de compilar información ambiental para describir el estado de una zona es el uso combinado de Sistemas de Posicionamiento Global (SPG) junto con Sistemas de Teledetección (TD). Estas herramientas permiten caracterizar, medir y visualizar con precisión los recursos naturales y antrópicos, tanto en el ámbito terrestre como en el marino (NOAA, 2002). A partir de los Sistemas de Teledetección se puede generar tanto cartografía del medio humano, (límites administrativos, lugares habitados, líneas de transporte, líneas de energía, etc.), como cartografía del medio físico (línea de costa, red de drenaje, vegetación, cobertura del suelo, etc.). Una de las ventajas de utilizar cartografía derivada de la teledetección (imágenes satélites, fotografías aéreas, etc.) es que su disponibilidad ha aumentado notablemente durante los últimos años y hoy en día la diseminación de datos cartográficos vía Internet a distintas escalas y resoluciones por parte de numerosas agencias, organismos e instituciones permite recopilar información cartográfica de interés de libre distribución para preparar una base de datos espacial de cualquier lugar del planeta (Hernández y Sendra, 2001). Por su disponibilidad y aplicabilidad el uso de SPG junto con TD se ha utilizado en la caracterización de la situación de partida en estudios de escenarios a escala global (ej. *World Water Vision*, 2000), nacional (ej. *Foresight Future Flooding*, 2004) o regional (ej. *Water Resources for the Future*, 2001).

### b) Análisis de tendencias e identificación de las fuerzas motrices

Las tendencias en estudios de escenarios pueden definirse como patrones de cambio a lo largo del tiempo (EEA, 2007). Las tecnologías de teledetección están siendo cada vez más utilizadas para observar los cambios espaciales en muchos lugares del planeta (Verburg et al., 2006). Esto se debe, en primer lugar a que teledetección permite seguir tendencias de todo tipo, naturales o antrópicas, como por ejemplo procesos de erosión, incendios, urbanización, deforestación, desertificación, o cambios de uso de suelo. Y en segundo lugar a que la capacidad de estas tecnologías para seguir los cambios es cada vez mayor debido a la creciente resolución espacial y temporal.

El análisis de las tendencias es de gran utilidad para uno de los pasos claves en la generación de escenarios: la identificación de las fuerzas motrices (*driving forces*), esto es, cualquier elemento natural o inducido por el hombre que directa o indirectamente causa un cambio en un sistema (WRI, UICN y WB, 2005). Las tendencias pueden medirse como cambios en los valores de los indicadores a lo largo del tiempo (Parris y Kates, 2003), y esto permite su traducción en fuerzas motrices. Es decir, a través de la comparación de la evolución de los indicadores de tendencia se pueden identificar los elementos que están causando un cambio en el sistema. La identificación de las fuerzas motrices se puede realizar integrando datos estadísticos con datos espaciales, como muestra la Figura 2, en algunos estudios de escenarios se combina un análisis espacial y no espacial para identificar las fuerzas motrices a partir de las tendencias (Klijn et al., 2005).



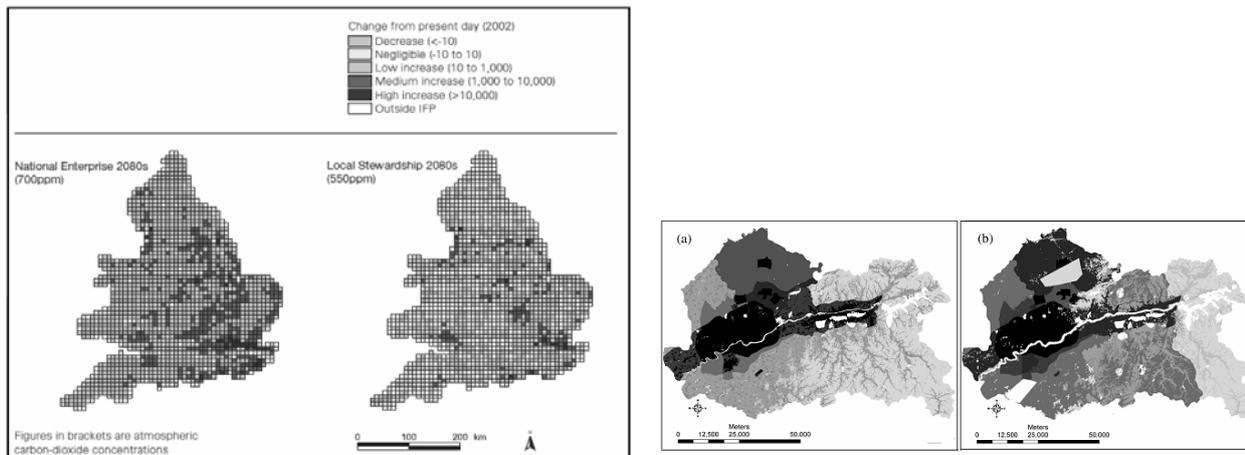
**Figura 2.** Análisis de usos de suelo para identificación de fuerzas motrices en el proyecto EURURALIS.

Hay que destacar que para estudiar las tendencias e identificar las fuerzas motrices el análisis de los patrones del uso del suelo a través de TD está cobrando relevancia en los últimos años, dado que la mayoría de las actividades humanas están relacionadas con los usos del suelo (Verburg et al., 2006). Desde la década de 1990, una serie de estudios han tratado de explicar la dinámica del cambio de usos de suelo en los análisis de escala local y regional mediante la combinación de datos de teledetección con información biofísica, social y económica. Muchos de estos estudios espacialmente explícitos tienen por objetivo último la comprensión no solo de la ubicación y tipo del cambio de uso de suelo, sino también la identificación de las fuerzas motrices que producen de ese cambio. Se puede argumentar que no todas las fuerzas motrices son espacialmente observables, por ejemplo, las políticas nacionales de comercio pueden ser caracterizadas por algunos como “no-espacial”; sin embargo, estas políticas claramente ejercen su influencia sobre la geografía y pueden tener efectos espaciales más o menos notables a distintas escalas (Chowdhury, 2006). La gestión de las variables de cambio (tendencias y fuerzas motrices) en una geodatabase asociada a un SIG es una fórmula utilizada en los estudios de escenarios que utilizan la modelización en su fase final (ej. EPSON Project, Coastal Futures, RENMAN Project).

### c) Generación y descripción de escenarios

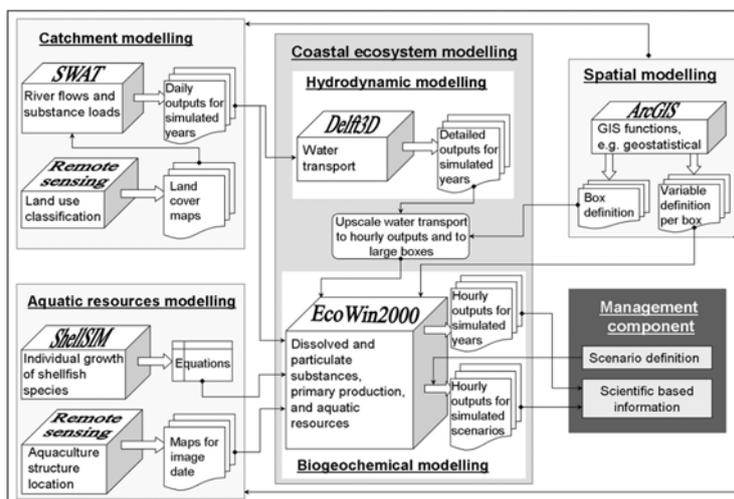
En la generación de escenarios no se utiliza una única descripción del futuro, sino que se desarrollan distintos escenarios para explorar y evaluar una serie de hipótesis sobre las condiciones futuras (Heugens and Oosterhout, 2001). De hecho, el trabajo basado en escenarios es más poderoso cuando varios escenarios alternativos se construyen y analizan, y cuando cada uno proporciona un contraste significativo de los demás (Schwartz, 1996). Cada escenario puede incorporar una cantidad casi ilimitada de información medioambiental, así como información sobre las complejas interacciones entre la sociedad y el medio ambiente (Alcamo, 2008). Por eso, una de las herramientas más importantes que pueden emplearse para la generación de escenarios son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que de acuerdo con su elevada capacidad de análisis y de integración diversas fuentes de información geográfica, proporcionan un soporte amplio para el diseño y aplicación de modelos en estudios de escenarios (Aguilera et al., 2009). El uso de los SIG ayuda a los planificadores a localizar y cuantificar las consecuencias de escenarios alternativos y reducir las incertidumbres sobre el futuro (Schaller y Matos, 2009).

Por su versatilidad, los SIG se usan para la generación de todo tipo de escenarios: repercusiones de políticas (Proyecto Scenar 2020), futuro de los recursos naturales (Proyecto Forescene), cambios de uso de suelo (Proyecto Prelude), medio rural (Proyecto Eururalis), servicios ecosistémicos (Proyecto Ateam) o biodiversidad (Proyecto Bioscene) entre otros. La Figura 3 presenta el uso de SIG para dos estudios de escenarios muy diferentes (efectos de políticas de protección ambiental y efectos del cambio climático). Sin embargo en ambos casos el objetivo de usar SIG es el mismo, procesar y visualizar fácilmente la información de los escenarios.



**Figura 3.** Dos ejemplos de uso de SIG para la creación de escenarios. A): Mapas que muestran los impactos potenciales de distintos escenarios de políticas de protección ecológicas en la región de Shenyang-Fushun, China (Xia et al., 2009). B): Mapas que muestran el nº de personas en riesgo debido a inundaciones en las zonas costeras y ribereñas en el 2080 bajo distintos escenarios de emisiones (OST,2004).

Aunque los SIG se pueden aplicar para generar cualquier tipo de escenario, ciertamente son especialmente útiles en dos casos: generación de escenarios que requieran integrar numerosos modelos y generación de escenarios que trabajen con cambios de escalas o integrando varias escalas al mismo tiempo. Es interesante anotar que en algunos estudios de escenarios basados en la integración de distintos modelos matemáticos, los procesos participativos también tienen cabida, como muestra la Figura 4. En este proyecto la definición inicial de los escenarios se realizó mediante procesos participativos, y luego esos escenarios se introdujeron en un complejo sistema formado por diferentes modelos que se integraban junto con un SIG para poder darle salida espacial a la información generada.



**Figura 4.** Integración de distintos modelos en un SIG para la generación de escenarios (McFadden et al., 2003)

El uso combinado de los SIG con Autómatas Celulares para la generación de escenarios basados en información espacial es un campo en expansión en los estudios de escenarios basados en la modelización. Aunque los autómatas celulares se pueden utilizar para estudiar la dinámicas espaciales de muy diversos procesos: incendios, desertificación, etc., en los estudios de escenarios los AC se usan mayoritariamente en proyectos relacionados con los cambios de usos de suelo (He et al., 2006, Yu et al., 2009, Aguilera, 2009).

#### d) Visualización y difusión de los resultados

Los estudios de escenarios espacialmente explícitos presentan una gran cantidad de datos y mapas, y la correcta presentación y visualización de los mismos desempeñan sin duda un papel muy importante en la transferencia de los resultados (Verburg et al., 2006). Sin embargo la visualización y presentación de los resultados de los escenarios sigue siendo un reto importante. Las TIG pueden ayudar en esta última fase de los escenarios en dos aplicaciones muy interesantes: visualización de escenarios mediante visores 3D y difusión de los resultados mediante *web mapping*.

La visualización mediante visores 3D facilita que la información generada en el estudio de escenario se presente de una forma innovadora, interesante, informativa y atractiva para el usuario (Jude, 2008). Al permitir la creación, manipulación y exploración interactiva de los entornos virtuales geo-referenciados, los visores multidimensionales permiten la visualización de datos GIS en un formato que es más realista y reconocible que la asociada con los tradicionales mapas temáticos (Jude et al., 2007). Por ello la visualización de escenarios a través de visores 3D (ArcView 3D Analyst, ArcScene, Visual Nature Studio, Google Sketch Up, etc.) está en auge, y se está utilizando muy especialmente en los estudios de escenarios de cambio climático. Esta tecnología pueden ayudar a crear nuevos modelos participativos para el desarrollo de escenarios, alejándonos del unidireccional modelo de comunicación científica hacia un modelo bidireccional en el cual se genere información útil tanto para los participantes como para los investigadores (Shaw et al., 2009).

Una de las ventajas de los visores 3D es que facilita la implicación de los agentes sociales en la generación de escenarios, en este sentido Sheppard et al., (2008) apunta que atendiendo a los datos de la respuesta del público registrada durante los talleres de evaluación de escenarios, es evidente que la amplia utilización de visores mantiene un alto nivel de compromiso entre los participantes del público en una sesión larga e intensa. Otro punto fuerte de estas tecnologías en la generación de escenarios es que la comunicación visual proporciona un lenguaje común con el que expertos de distintas disciplinas pueden comunicarse mejor (Bursch et al., 2009).

Por su parte el *web mapping* proporciona a las comunidades un acceso fácil a la información generada en el estudio de escenarios. Es decir, permite difundir al gran público los resultados del estudio de escenarios como: las tendencias y fuerzas motrices identificadas, los escenarios generados, la información sobre el software y los recursos pertinentes de modelado. El conocimiento virtual constituye sin duda una herramienta de comunicación eficaz e innovadora y ayuda a reforzar la integridad científica (Proyecto EPSON).

Más allá de la capacidad de difundir información, la fortaleza del *web mapping* está en su aportación a la toma de decisiones participativas. Los escenarios pueden ser visualizados y explorados por los agentes sociales, y también evaluados a través de internet. De esta forma en la toma de decisiones se maximizan las oportunidades para que todos los agentes sociales evalúen los escenarios y tomen parte en el proceso de discusión sobre las alternativas de futuro. Algunos estudios de escenarios están incorporando el *web mapping* (ej. ESPON Project, Coastal Resilience Long Island, Figura 5).



**Figura 5.** Uso de *web mapping* en la difusión de escenarios. Proyecto Coastal Resilience Long Island. El *web mapping* permite a los usuarios explorar los escenarios futuros sobre inundaciones causadas por la elevación del nivel del mar y marea de tormenta para la costa sur de Long Island. El proyecto integra aspectos ecológicos y socio-económicos (The Nature Conservancy et al., 2010)

## CONCLUSIONES

Con este estudio se pone de manifiesto que las TIG poseen una serie de características que las hacen muy adecuadas en los estudios de escenarios de futuro. En primer lugar, la *capacidad de integración* de las TIG aplicadas a la generación de escenarios permite integrar la información específica de un lugar referenciada por varias disciplinas (agricultura, silvicultura, edafología, hidrología, etc.) con la información sobre el contexto y las dinámicas culturales, sociales y económicas. Además las TIG permiten combinar la información de diferentes escalas espaciales y temporales, haciendo posible, por ejemplo, relacionar el uso del suelo a nivel local con la política agrícola nacional y viceversa. En segundo lugar, la *disponibilidad de información* de datos espaciales. Cada vez existen más datos de libre acceso y además, la resolución espacial y temporal de dichos datos incrementa continuamente. Eso abre nuevas posibilidades en los estudios de escenarios, como las actualizaciones de datos más frecuentes y menos costosas y el intercambio de información espacial por parte de usuarios de todo el mundo (Ehrensperger et al., 2007). En tercer lugar la *capacidad de visualizar la información espacial* es un elemento muy importante para la comunicación, difusión e intercambio de conocimientos. La información espacial mejora la toma de decisiones con respecto a la gestión de las zonas costeras, ya que puede aumentar la transparencia durante el proceso y puede facilitar la creación de consenso entre los múltiples interesados en estos espacios (PNUMA, 1999; Wheeler y Peterson, 2009). Es indispensable explotar todo el potencial de las nuevas técnicas de visualización para involucrar de manera efectiva a los agentes sociales en la comprensión y contribución al debate sobre las alternativas realistas para la gestión del futuro (DEFRA, 2005). Así por ejemplo herramientas como el *web mapping* muestran un gran potencial para facilitar y mejorar los procesos participativos, pese a que aún no se utilizan mucho en los estudios de escenarios de futuro.

Atendiendo a las tres características mencionadas y teniendo en cuenta la revisión de proyectos de escenarios realizada, se puede afirmar que las TIG son muy útiles en la generación de escenarios y que se pueden aplicar en todas las fases del estudio con éxito. Desde la descripción de la situación inicial hasta la difusión de los resultados, las TIG incrementan la transparencia, fiabilidad y reproducibilidad de la generación de escenarios. No obstante, tradicionalmente se ha reservado el uso de TIG para procesos de modelización, y su uso no está tan extendido en la generación de escenarios de futuro (los cuales pueden incluir o no una fase de modelización). En parte porque la generación de escenarios se sustenta a menudo y de forma exclusiva en métodos cualitativos. Sin embargo, en este trabajo se ha podido comprobar que los métodos cuantitativos y cualitativos no tienen porqué ser excluyentes en la generación de escenarios, y menos aún en el caso de escenarios aplicados a las zonas costeras. De acuerdo a los principios de la GIZC, en los escenarios aplicados a las zonas costeras se debe buscar el equilibrio entre una definición cualitativa de los mismos a través de procesos participativos y su validación científica por el uso de modelos cuantitativos basados en datos precisos, siempre que sea posible. Los escenarios generados por enfoques mixtos combinan un amplio alcance y un alto contraste, por un lado con un alto nivel de realismo y por el otro con un gran poder de explicación (IGEAT, 2004). Sin embargo, la combinación de ambos enfoques no es una tarea fácil, porque esto implica la integración de dos paradigmas diferentes y una intensa cooperación entre los investigadores que hablan, piensan y trabajan de manera muy disímil. Aún queda mucho por avanzar, pero ya hay ejemplos de estudios exitosos que han apostado por la integración de procesos participativos con análisis cuantitativos y modelización. Uno de estos proyectos es el PRELUDE, que combina consultas con agentes sociales y expertos con procesos de modelización para generar escenarios. Este proyecto se apoya notablemente en el uso de las TIG, demostrando que quizás sean éstas las que abran una puerta para la comunicación entre técnicas cualitativas y cuantitativas.

Con todo lo anterior y dadas las características y las ventajas que ofrecen, las TIG presentan un alto potencial para la generación de escenarios de futuro para cualquier disciplina en general y para la gestión costera en particular, facilitando los procesos participativos, la toma de decisiones y los procesos de planificación y contribuyendo por tanto a una gestión más integrada del litoral.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera, F., Plata, W., Bosque, J., y Gómez, M. (2009). *Diseño y simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos*. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. Año 2009, nº 4.
- Alcamo y Henrichs (2008). En: *Developments in integrated environmental assessment Vol 2, Environmental Futures*. Chapter one. Elsevier, New York, New York, USA.
- Alcamo, J. M. (2008). The practice of environmental scenario analysis. En *Developments in integrated environmental assessment Vol 2, Environmental Futures*. Elsevier, New York, New York, USA.
- Atkins (2004). *ICZM in the UK: a stocktake*. Queen's Printer and Controller of HMSO.
- Buddemeier RW, Smith SV, Swaaney DP, Crossland CJ (2002) *The role of the coastal ocean in the disturbed and undisturbed nutrient and carbon cycles*. LOICZ reports and studies series No. 24.
- Bursh,S., Alison Shaw, Stephen Sheppard and David Flanders(2009) Climate Change Visualization: Using 3D Imagery of Local Places to Build Capacity and Inform Policy. *State of Climate Visualization*, CSPR-report 2009:4
- Carpenter, S. R. et al. (2005). *Ecosystems and human well-being –Scenarios: findings of the Scenarios Working Group*. Chapter 7: drivers of ecosystem change. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington.
- Chermack TJ, Lynham S and Ruona WEA (2001). A review of scenario planning literature. *Futures Research Quarterly* :7–31.
- Chowdhury, R.R. (2006) Driving forces of tropical deforestation: The role of remote sensing and spatial models. *Singapore Journal of Tropical Geography* 27: 82–101.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2000). Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo sobre la gestión integrada de las zonas costeras: una estrategia para Europa. Bruselas (COM/2000/547).
- DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs) (2002). Managed realignment review. Project report. August 2002. Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R & D Programme. DEFRA. London.
- EC (European Commission) (1999). *Towards a European Integrated Coastal Zone Management (ICZM) Strategy*. General principles and policy options. EU Demonstration Programme on Integrated Management in Coastal Zones 1997–1999. Directorates-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, Fisheries, Regional Policies and Cohesion.
- EC (European Commission) (2004). EUROSION Project. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. PART IV – A guide to coastal erosion management practices in Europe: Lessons Learned
- EEA (2007). *EEA Research Foresight for Environment and Sustainability*. Final Report.

- Ehrensperger, A. Wymann von Dach, S. y Kakridi Enz, F (2007). Tecnologías de Información Geográfica para el Manejo de los Recursos Naturales. *InfoResources Focus* No 3/07
- FAO (1998). Integrated coastal area management and agriculture, forestry and fisheries. FAO Guidelines. Rome, FAO, Environment and Natural Resources .Service, 256 pp.
- García Hernández, E., Bosque Sendra, J. (2001). Bases de datos cartográficas de cobertura global accesibles on-line. *Geofocus (Recursos)*, 1, p. 5-10
- He C, Okada N, Zhang Q, Shi P, Zhang J (2006). Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Applied Geography* 26:323–345.
- IGEAT-Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (2004). ESPON 3.2 First Interim Report. *Spatial Scenarios and orientations in relation to the ESDP and Cohesion Policy*.
- IPCC (2000) *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1994). Preparing to meet coastal challenges on the 21st century. Conference Report, World Coast Conference 1993, Noordwijk, The Netherlands.
- Jude, S (2008). Investigating the Potential Role of Visualization Techniques in Participatory Coastal Management. *Coastal Management*, 36:331–349, 2008
- Jude, S. R., Jones, A. P., Watkinson, A. R., Brown, I. and Gill, J. A. (2007) . 'The Development of a Visualization Methodology for Integrated Coastal Management', *Coastal Management*, 35: 5, 525 – 544
- Klijn, J.A., Vullings, L.A.E., van den Berg, M., van Meijl, H., van Lammeren, R., van Rheenen, T., Veldkamp, A., Verburg, P.H., Westhoek, H., Eickhout, B. (2005). The EURURALIS study: Technical document. Alterra-rapport 1196. Alterra, Wageningen
- McFadden, L., Vafeidis, A. and R.J. Nicholls (2003). A Coastal Database for Global Impact and Vulnerability Analysis. 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes: Coastal Sediments '03, Clearwater Beach, Florida, USA, 18-23 May 2003.
- Meadows et al. (1972). D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers and W.W.I. Behrens, *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books Publishers, New York (1972).
- Nakicenovic, N. et al. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 599 pp
- Navas, F. y Malvárez, G. (2009). El conocimiento del medio como clave para el desarrollo de ordenación y gestión de las costas. En Mas-Pla J.y Zuppi, G.M (eds.): *Gestión ambiental integrada de zonas costeras*. Barcelona, Rubes

Editorial, 2009: 81-98.

Nicholls,R.J., Poh Poh, W.,Burkett, V., Woodroffe,C.D., and Hay, J., (2008). Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. *Sustainability Science* 3:89–102

NOAA (2002). Remote Sensing at the NOAA coastal services center. A concept of operations. Disponible en: [http://www.csc.noaa.gov/crs/rs\\_con\\_ops.pdf](http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_con_ops.pdf)

OST (Office of Science and Technology (2004). *Future Flooding Executive Summary*. London OST, Department of Trade and Industry.

Parris, T. M. y Kates, R. W. (2003). Characterizing a sustainability transition: Goals, targets, trends, and driving forces. *PNAS*, Vol. 100, No. 14, 8068 . 8073.

Peterson, G.D., Cumming, G.S. y Carpenter, S.R. (2003). *Conservation Biology*. Volume 17, No. 2: 358–366.

RENMAN Project (2004). The challenges of modernity for reindeer management: integration and sustainable development in Europe's subarctic and boreal regions, 2001-2004.

SCENES: Water Scenarios for Europe and for Neighbouring States, 2006-2010. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme. Disponible en: <http://www.environment.fi/syke/scenes>

Schaller, J., Mattos, C., (2009). "ArcGIS *ModelBuilder* Applications for Landscape Development Planning in the Region of Munich,Bavaria. En: Buhmann/Pietsch/Kretzler: *Proceedings of Digital Landscape Architecture 2010*, Anhalt University of Applied Sciences. Wichmann Verlag, Heidelberg, Mayo 2010

Shaw, A., Sheppard, S., Burch, S., Flanders, D., Wiek ,A., Carmichael, J., Robinson, J., Cohen, S. (2009). Making local futures tangible synthesizing, downscaling, and visualizing climate change scenarios for participatory building. *Global Environmental Change*. 19:447-463

Shepard, S. (2005). Landscape visualisation and climate change: the potential for influencing perceptions and behavior. *Environmental Science & Policy* 8: 637–654.

Sheppard, S. R. J., Shaw, A., Flanders, D., and Burch, S. (2008). Can visualization save the world? Lessons for Landscape Architects from visualizing local climate change. *Conference Proceedings, Digital Design in Landscape Architecture 2008, 9th International Conf.*, Anhalt University of Applied Sciences Dessau/Bernburg, Germany.

The Nature Conservancy, NOAA, GISS, University of Southern Mississippi (2010). Coastal Resilience Long Island. Sitio web disponible en <http://www.coastalresilience.org/>

Thomas, C.W. (1994). Learning from imagining the years ahead. *Strategy Leadersh* 22 (3) :44.

Tress, B y Tress G (2003). *Landscape and Urban Planning* 64: 161–178

- UNEP (1995). Guidelines for Integrated Management of Coastal and Marine Areas - With Special Reference to the Mediterranean Basin. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 161. Split: PAP/RAC (MAP/UNEP).
- UNEP (United Nations Environmental Program) (1999). Conceptual Framework and Planning for Integrated Coastal and River Basin Management. Spit: Priority Actions Program, 78 p.
- UNEP (United Nations Environmental Program) (2002). Global Environmental Outlook. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. Disponible en : <http://www.grid.unep.ch/geo/geo3/index.htm>
- UNEP (United Nations Environmental Program) (2005). One Planet, Many People: Atlas of Our Changing Environment. Nairobi, Kenya : UNEP, 2005. VII, 320 p.
- UNEP (United Nations Environmental Program) (2008). *Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean.* ,Priority Actions Programme, 2008, Firmado en Madrid el 21 de Enero de 2008.
- Verburg, P., Rounsevell, M., y Veldkamp, A. (2006). Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture Ecosystems Environment*. Volume: 114, Issue: 1, Pages: 1-6
- Wheeler, P.J. y Peterson, J.A. (2009). 'Exploring stakeholder views regarding spatial information and enabling technology use for ICZM: a case study from Victoria, Australia'. *Coastal Management Journal*, 37:1-21
- WRI World Resources Institute (2005). Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis., Washington, DC. 68p.
- WRI, IUCN y WB (2005). Ecosystem and Human Wellbeing: a framework for assessment. Millennium Ecosystem Assessment.
- Xia, F., He, H.S., Hu, Y., Bu, R., Chang, Y. , Wu, X., Liu, M., y Shi, T. (2009). Simulating the impacts of ecological protection policies on urban land use sustainability in Shenyang-Fushun, China. *International Journal of Urban Sustainable Development*. Vol. 1, Nos. 1-2, May-November 2009, 111-127.
- Yu, J., Y. Chen y J.P. Wu (2009). Cellular Automata and GIS Based Land Use Suitability. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.