

FACTORES, PREDICCIÓN E IMPLICACIONES EN LA ASIGNACIÓN DE USOS DEL SUELO: REVISIÓN Y REFLEXIONES

J. ALARCÓN LUQUE

ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid

Correo electrónico de contacto: javalarc@hotmail.com

RESUMEN. *Las abundantes investigaciones recientes en materia de usos del suelo obedecen al auge que está cobrando en los últimos años la observación de los ecosistemas y la predicción de procesos ecológicos, motivada por la continua urbanización, la deforestación y la progresiva desertización que está teniendo lugar en muchos países, y con el objetivo preferente de consolidar políticas acertadas de gestión del territorio y de conservación de los recursos.*

La distribución de los usos del suelo resulta de una interrelación entre las condiciones naturales del medio y la influencia antropogénica, siendo ésta en ocasiones irregular e impredecible. Teorías y modelos buscan indicadores significativos que reflejen las condiciones del territorio, sus presiones y las aspiraciones de la sociedad.

En este artículo se hace una revisión bibliográfica de una serie de trabajos científicos, a través de los cuales se introducen varios aspectos relevantes que deben ser tenidos muy en cuenta en la planificación y asignación eficiente de usos del suelo.

ABSTRACT. *The recent researches on the land uses are related to the interest that are receiving in the last years the ecosystems monitoring and ecological processes modelling, specially as a result of the constant urbanization, afforestation and progressive desertification that are affecting many countries, and with the objective to consolidate suitable policies of land management and resource conservation.*

Land use distribution results from the link between the ecosystems and the human action, which is often unbalanced and unpredictable. Theories and models look for significant indicators that show the landscape conditions, pressures and social claims. This paper is a bibliographical revision of some scientific studies by means of which several excellent aspects are introduced to have them in account in the landscape management and in the efficient allocation of land uses.

Palabras clave: Usos del suelo, planificación del territorio, variables biofísicas, variables socioeconómicas, predicción y efectos de los usos del suelo.

Key words: Land use, landscape management, biophysical factors, socioeconomic factors, landscape modelling and effects of land use.

Enviado el 27 de febrero de 2005

Aceptado el 10 de diciembre de 2005

1. Introducción

La tierra es el medio que soporta la vida. Los usos del suelo determinan la localización de los ecosistemas, inciden en la posible fragmentación de los hábitats y afectan decisivamente al clima y a los ciclos hidrológicos y del carbono. Además los aprovechamientos de la tierra y sus recursos definen los modelos de ordenación territorial, resultando claves en la economía de las regiones.

En este trabajo se hace una revisión bibliográfica de investigaciones relevantes sobre cambios en la cubierta terrestre y en los usos del suelo. Como elementos esenciales de esta casuística se han esbozado los factores substanciales que determinan estos cambios. El autor ha querido destacar también algunas aportaciones que se dirigen a la predicción y simulación de cambios en el territorio, a la vista del gran interés que comportan para la evaluación de iniciativas y políticas territoriales. Por último, se han seleccionado algunos estudios en los que se ponen de relieve los efectos socioeconómicos y medioambientales, así como el papel del clima como causa y al mismo tiempo efecto de la dinámica espacial.

Atendiendo en definitiva a varias aproximaciones científicas de actualidad, bajo distintos puntos de vista, el objetivo de esta revisión bibliográfica es exponer una serie de consideraciones de partida que sean de utilidad para, con el apoyo complementario de las teorías clásicas de la localización y de la Economía espacial, enfrentarse al complejo tema de la ordenación del territorio.

El tema tratado es sin duda muy amplio y la literatura especializada realmente extensa. Por falta de espacio muchos trabajos han quedado fuera de esta revisión, de lo cual el autor se excusa, asumiendo cuantas carencias y limitaciones al respecto puedan observarse.

2. Análisis de cambios en la cubierta y en los usos de la tierra

La descripción de la transformación del paisaje es un objetivo que comparten muchos trabajos de investigación. Diversas fuentes posibilitan la comparación de dos o más estados de una zona, correspondientes a un cierto período. Además de los indicadores operativos y la observación espacial (condicionada por la escala y la resolución), son aspectos clave la definición de unidades espaciales (que deben facilitar la georeferenciación de indicadores biofísicos y socio-económicos), así como el procesamiento de los datos.

En muchos trabajos se estudia la colonización de terrenos en países en vías de desarrollo, reflejando los impactos del hombre sobre la tierra. El proyecto “Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia” evalúa diversos elementos del medio, y cómo éstos se ven influidos por los usos del suelo y el clima; acudiendo a sistemas de teledetección, datos históricos y técnicas estadísticas, se relacionan datos de campo con mapas de uso actual, y se generan estimaciones espaciales (Roberts *et al.*, 2003). Munroe *et al.* (2002) afrontan un análisis econométrico de cambios, a partir de imágenes de satélite, probando una serie de modelos. Rembold *et al.* (2000) descubren las complejas interacciones entre los parámetros ambientales y la dinámica socio-económica, valiéndose de fotografías aéreas e imágenes Landsat y de trabajo de campo sobre aspectos sociales.

La evolución y las alteraciones que de forma específica se han producido en la vegetación son abordadas en numerosos estudios, en los cuales se ofrece una cierta relación entre estos cambios y las variables que las originan, con el propósito de cuantificar y, de algún modo, caracterizar espacialmente los cambios en la cubierta del suelo. Así en Sanz-Elorza *et al.* (2003) se trata la colonización por la vegetación leñosa, como consecuencia correlacionada del cambio en las condiciones climáticas. La influencia del paisaje en los procesos bióticos y en la biodiversidad se pone de manifiesto en el trabajo de Honnay *et al.* (2003), gracias a unos índices espaciales extraídos del Landsat Thematic Mapper Satellite. Wilson *et al.* (2003) construyen por su parte un conjunto de modelos lineales que contrastan la respuesta de la diversidad vegetal a los cambios de uso en el terreno, conforme a las condiciones agro-geo-climáticas observadas; se aplican variables de predicción obtenidas a partir de una serie de atributos funcionales de la vegetación, del entorno y de la gestión de los recursos, útiles para evaluar los efectos de diversos escenarios de cambio de uso. Diouf y Lambin (2001) investigan las relaciones entre un indicador remoto de vegetación, la precipitación, la biomasa y la composición florística. Fédoroff *et al.* (2004) estudian las comunidades vegetales en relación con la transformación agrícola y la heterogeneidad en el paisaje. Por último, Ponge *et al.* (2003) examinan unas ciertas comunidades de especies indicadoras de la intensificación en el uso de la tierra, y Tømmervik *et al.* (2003) utilizan áreas con abundancia de líquenes, como testigos de los efectos que sobre la vegetación tiene la contaminación atmosférica.

3. Factores que determinan el cambio en los usos del suelo

Los cambios en la vegetación y en los usos de la tierra responden a un gran número de causas no lineales, que se dan con una magnitud, una frecuencia y una distribución geográfica. Los factores que influyen en la localización de actividades son hoy por hoy numerosos y difíciles de precisar, dada la interrelación existente entre los mercados modernos y las economías de escala. Se trata de variables que pueden clasificarse como biofísicas (edafología, clima, distancia a las vías de comunicación,...), sociales (política institucional, dinámica poblacional, tecnología,...) y económicas (evolución de los mercados, ayudas públicas,...).

Las ideas de Malthus sobre crecimiento de la población, demanda de alimentos y recursos presentaban ya a finales del siglo XVIII la inevitable escasez como argumento para la búsqueda de una “sostenibilidad” primitiva, para la cual se hacía necesaria una acertada utilización del medio natural (Malthus, 1798).

En un mundo eminentemente rural, la asignación de usos respondía claramente a la teoría de David Ricardo, por la que la renta económica pura de la tierra se fundamenta en el trabajo necesario para obtener la producción agrícola, la inversión en capital fijo y los costes de oportunidad (o ingresos de transferencia) por usos alternativos (Ricardo, 1817).

En un principio, los esfuerzos por modelizar los cambios en la tierra se dirigieron a identificar meramente los atributos del medio físico (altitud, pendiente o clase de suelo), cuya información es relativamente fácil de conseguir. La teoría original de la localización añade la definición de unos centros de influencia, y la medida de la distancia que separa a éstos de las diversas zonas de uso, según unos costes de desplazamiento. Su precursor fue von Thünen (1826), quien agrupó a los emplazamientos de acuerdo con la renta de la tierra y la proximidad a los mercados (mediante una función de gradiente de renta se relacionan ambos conceptos), sobre la base de unos factores de producción (trabajo, capital), los impuestos fiscales, la fertilidad de los suelos y la existencia de cauces fluviales.

Ya en el siglo XX, Weber atribuye la localización de las actividades a los costes de transporte a los mercados y a los puntos de suministro de materias primas y energía, así como al precio y la renta de la tierra (Weber, 1929). Christaller (1933) habla en su famosa teoría de distancia a lugares centrales (núcleos de población, producción o mercado) y los costes derivados de la producción, el transporte y la distribución, en un contexto de economía de las regiones. Lösch (1940) aporta una visión más economicista al considerar precios y demanda de productos. En la actualidad autores como Hoover y Giarratani (2003) abogan por unos patrones geográficos “locacionales” de referencia, que se fundamentan en los gradientes de renta, la demanda de espacio y la disposición a pagar por tener derecho a utilizar una tierra, el coste de oportunidad en el uso del suelo, la localización y accesibilidad de los mercados y la localización de lugares de suministro de materias primas o insumos.

Geoghegan *et al.* (1997) definen unas variables estructurales (tamaño de parcela, tipo de suelo, dotación de agua,...), poblacionales (etnias y renta) y espaciales (distancia a la ciudad o al centro de negocios, accesibilidad a la vía de comunicación más cercana,...), y diseñan unos índices espaciales de *diversidad* y *fragmentación* de usos del suelo (suma de relaciones perímetro/área y suma de longitudes de borde), forma dimensional “fractal” de las unidades geográficas de uso/cubierta, “efecto de contagio o absorción” (según la probabilidad de que dos usos ocupen zonas adyacentes), o grado de ocupación (según probabilidad de que se dé un cierto uso).

Rasmussen (2002) considera nuevas variables, como son los avances tecnológicos, la variación de los precios, el crecimiento económico y demográfico, la industria de transformación, el empleo, la cultura, los cambios generacionales en los agricultores y las políticas de regulación. Irwin y Geoghegan (2001) ahondan en las variables socio-económicas (población, producto interior bruto, precios, subsidios, propiedad), y proponen además

ciertas variables personales del propietario (tamaño familiar, nivel de educación, nivel de rentas y rentas obtenidas fuera de la explotación o capacidad para asumir riesgos), sin olvidar la accesibilidad a los centros urbanos ni los aspectos biofísicos del entorno. Lambin *et al.* (2000 y 2001) complican aún más el estudio socio-económico por consideración del oportunismo de ciertos factores económicos, sobre todo derivados de los mercados y las políticas locales y nacionales, mediatizados por factores institucionales y globales.

4. Predicción de cambios en el territorio

La detección de la evolución de la cubierta del suelo se ha llevado a cabo habitualmente agregando la totalidad de variaciones registradas, e identificando la localización y la magnitud con que éstas se han producido. La modelización añade una estimación o predicción del efecto de las distintas variables sobre el uso final del suelo, a partir de la observación de un conjunto de muestras, y por aplicación de oportunas técnicas econométricas.

La modelización de los usos de la tierra permite entender los procesos de cambio y predecir alternativas de futuro, analizando la sensibilidad de las variables a la evolución territorial, y también la estabilidad de los sistemas (Veldkamp y Lambin, 2001). La idea que está presente en estos modelos es la simulación de escenarios a partir de probabilidades observadas en la realidad de que un cierto “pixel” presente un determinado uso, considerando el impacto de una serie de variables. Para ello se suelen aplicar modelos econométricos tipo *logit*.

En los últimos años se han introducido además patrones espaciales que rigen los cambios de modo individual y la probabilidad de que se produzcan tales cambios. Veldkamp y Fresco (1996) presentan un modelo dinámico de simulación de conversión de usos de la tierra, que responde a la interacción de factores biofísicos y humanos, con un carácter multi-escalar. Evans *et al.* (2001) aportan un modelo de cambios a nivel de parcela para pequeños propietarios, en el cual los usos del suelo óptimos se determinan considerando la utilidad de las diferentes actividades en cada lugar, la mano de obra que aquéllas requieren, y otros aspectos como la natalidad, la emigración a las ciudades o la variación en los precios agrarios. Logsdon *et al.* (1996) muestran cómo la utilización de los procesos estocásticos conocidos como *cadena de Markov* permiten identificar cambios territoriales y predecir futuros usos y aprovechamientos, combinados con un “interface” automatizado que se apoya en un GIS y en la teledetección. De modo parecido, el modelo “Land-Use Change Analysis System” relaciona diversas fuentes geográficas con modelos econométricos (Hazen y Berry, 1997).

El estudio del fenómeno de expansión de las ciudades es tratado abundantemente en la literatura especializada. Wang y Zhang (2001) desarrollan un modelo de simulación del desarrollo urbano, que incorpora información socioeconómica y demográfica, y aplica una función de utilidad de decisión espacial con ajustes dinámicos. Tal aproximación consigue solventar las limitaciones de los modelos estáticos y estadísticos que

utilizan probabilidades de transición constantes en los modelos de simulación. El modelo de Martínez y Donoso (1996) asume que la propiedad urbana se asigna conforme determina el equilibrio de mercado del suelo, considerando que la oferta satisface la demanda. El modelo se especifica en unidades discretas: zonificación y categorización de residentes y empresas. Las aspiraciones teóricas de los demandantes de suelo se modelizan siguiendo un proceso de comportamiento estocástico. La interacción entre los agentes, que es función de sus preferencias, lleva a un cierto equilibrio espacial.

5. Efectos socioeconómicos y medioambientales de la dinámica territorial

En varios modelos en los que se plantea la conversión de usos del suelo, la motivación de los propietarios se asume reside en la expectativa de maximizar la renta de su propiedad. Sobre esta base teórica Irwin y Geoghegan (2001) analizan las transformaciones causadas por la urbanización residencial, desarrollando un modelo estructural simple que describe las preferencias individuales (modelo binario discreto de decisión, en el que la tierra puede quedar tal cual o convertirse a un uso residencial). El valor residencial del mercado se toma como variable exógena, junto a los costes de la edificación o el valor de la tierra para la agricultura (las cuales son estimadas en un modelo aparte); observaciones reales ayudan a predecir la probabilidad del cambio de cada unidad definida. Como resultado se obtiene un mapa de probabilidad de urbanización. Wear *et al.* (1998) descubren la presión desarrollista y sus implicaciones en el recurso del agua, previa simulación de paisajes hipotéticos, a partir de modelos de desarrollo y según las variables geográficas (población, pendiente, distancia a las ciudades y distancia a carreteras), y por aplicación de un modelo estadístico *multinomial logit*, que estima la función de probabilidad del cambio en los usos del suelo.

Los modelos hedónicos espaciales se han aplicado mucho para explicar el valor residencial, pero suelen restringirse al medio urbano. Sin embargo Geoghegan *et al.* (1997) introducen la estimación de la heterogeneidad espacial, y ligan el valor residencial de la tierra a las características del entorno. Además de las variables tradicionales, estas autoras asumen que el valor de una parcela se ve influido por las actividades y los usos que se dan en el terreno que lo circunda, por lo que incluyen dos índices ecológicos que miden el valor individual de la diversidad y el paisaje. Otro estudio de valoración de usos del suelo es el de Zhao *et al.* (2004), en el cual se averigua la pérdida de beneficios ambientales que ocasiona la transformación de usos, por aplicación de una serie de coeficientes de estimación del valor de los ecosistemas.

Al igual que ocurre con la construcción, la demanda de productos agroalimentarios evoluciona en respuesta al crecimiento de la población y el mercado, y con ella cambia el valor de la tierra. El reparto de la misma es función de la consideración de los propietarios por los beneficios que pueden obtener de unos usos alternativos. Parks *et al.* (2000) examinan el efecto de varios factores de oferta y demanda en la determinación de los patrones de uso de la tierra. Las variables principales de su modelo son los costes y

beneficios de los diversos aprovechamientos, la densidad de población y la clase de suelo. Los parámetros se estiman con una *binomial logit* que relaciona la superficie de la tierra con las variables que miden su oferta y demanda.

La sucesión de la vegetación y la deforestación en relación con la extensificación de la agricultura y otros aspectos socioeconómicos son objeto de estudio en la literatura. Pan *et al.* (2004) tratan este asunto aplicando modelos lineales generales mixtos, tomando los patrones de ordenación a nivel territorial como variables dependientes, y las variables biofísicas, geográficas, socioeconómicas y demográficas como independientes. Esta investigación demuestra que la combinación de la información extraída de encuestas y entrevistas con la proporcionada por imágenes de satélite y GIS aportan un soporte ideal para estudiar las interacciones entre la población y el medio, y que los modelos estadísticos resultan de gran eficacia para la integración de dichos datos. Otro estudio de este tipo es el de Kammerbauer y Ardon (1999), en el que se analizan transformaciones causadas por acción del hombre, sobre todo la reducción de la cubierta arbórea ante una creciente presión demográfica y de la actividad agrícola, estableciendo límites físicos y ecológicos e introduciendo condicionantes socio-económicos y políticos. O también el de Darwin *et al.* (1996), que averigua cómo los cambios globales en el clima, en la población humana y en las políticas internacionales afectan a los bosques tropicales, indicando que diversos escenarios de deforestación pueden correlacionarse con numerosos indicadores económicos. Por otra parte, el efecto que tiene el régimen de la propiedad de la tierra, privada o comunal, sobre los cambios en la superficie forestal ha sido interpretado por Mapedza *et al.* (2003). Y con aplicaciones similares a las anteriores se han desarrollado modelos hidrológicos (Wegehenkel, 2002).

El cambio en el uso de la tierra tiene importantes consecuencias en la economía de muchas comunidades locales que se basan en la producción primaria tradicional de recursos propios. Semwal *et al.* (2004) analizan la evolución de modelos espaciales agrícolas en función de los cultivos, el consumo de fertilizantes, los rendimientos o la erosión. En un trabajo de Hubacek y Sun (2001) se examinan los efectos territoriales que se prevé van a desencadenar los cambios económicos y sociales en China, mostrando también las consecuencias sobre el comercio futuro de productos primarios; estos autores diseñan un modelo mixto "input-output" caracterizado por fuertes relaciones biofísicas y por la incorporación de restricciones en la oferta de tierra.

La modelización basada en preferencias sociales se contempla en estudios como el de Huigen (2004), que permite considerar teorías de decisión y comportamiento a múltiples escalas y niveles. Los agentes son heterogéneos, de modo que se dividen en categorías, cada una de ellas con unas posibilidades de mejora. Laney (2004) desarrolla un modelo, enfocado a la intensificación de la agricultura, el cual identifica los efectos particulares de las opciones tomadas por los agricultores, en un nivel de agregación conjunta.

Existen trabajos que indagan los efectos del abandono de tierras sobre los ecosistemas (Romero-Calcerrada y Perry, 2004), contemplando el riesgo consecuente de incendios. Y numerosos son los estudios y modelos creados para la interpretación de fenómenos erosivos y su predicción: Glade (2003), Vanacker *et al.* (2003), Faulkner *et al.* (2003), etc.

El análisis de imágenes de satélite se demuestra de gran utilidad para saber el estado de la biomasa forestal. En la actualidad resulta de gran interés para la sociedad incorporar el objetivo de fijación de carbono en la gestión de los espacios naturales, en especial los forestales (Díaz-Balteiro y Romero, 2002). Solomon y Leemans (1997) pretenden evaluar los cambios en las reservas de madera y de carbono en los bosques boreales, apoyándose en un modelo estático de vegetación, el cual se adapta a unos escenarios climáticos recientes, derivados de modelos generales de circulación océano-atmósfera. La incorporación de datos del Landsat Thematic Mapper y de inventarios forestales periódicos, junto a modelos fisiológicos de productividad forestal, retención de agua del suelo y previsiones climáticas, ofrecen la oportunidad de mejorar estos modelos (Mickler *et al.*, 2002). Otros investigadores se proponen evaluar el potencial bioenergético en el futuro: Yamamoto *et al.* (2001) lo consiguen gracias a un modelo multiregional global de cambios de uso y energía.

Y se encuentran trabajos como el de Matthews *et al.* (2002), que tratan de estimar mediante modelos econométricos la repercusión que la transformación de terrenos agrícolas bajo políticas de forestación puede tener en las poblaciones de pájaros de bosque. O el de Boone y Hunter (1996), en el que se utiliza un modelo de aplicación individual para predecir las evoluciones de los osos, en respuesta a las prácticas humanas de manejo del territorio y la dinámica del medio en cuanto a su habitabilidad. Por su parte, con el fin de averiguar posibles impactos sobre la distribución y abundancia de la piscifauna fluvial, Peterson y Kwak (1999) diseñan un modelo con el cual simular la población de una cierta especie, en función del cambio climático, la temperatura y el régimen de agua.

6. Interacción entre el clima y la cubierta y los usos de la tierra

Los usos de la tierra y la cubierta vegetal están ligados a las condiciones climáticas mediante relaciones complejas que tienen lugar entre la superficie terrestre y la atmósfera, tales como los intercambios de calor y radiación, de humedad o de gases de efecto invernadero. El cambio en la cubierta de la Tierra puede modificar el clima, contribuyendo al proceso de calentamiento global al alterar el calor latente en las capas bajas de la atmósfera y el albedo. Niehoff *et al.* (2002) abordan el efecto que el cambio en los usos puede tener sobre la ocurrencia de tormentas y riadas, mediante una propuesta de escenarios de planificación que considera las características del lugar y las relaciones de proximidad, y una modelización hidrológica y espacial de generación de riadas. Hanjie y Hao (2003) prevén los resultados de la construcción del mayor proyecto de ingeniería forestal del mundo, en China, bajo simulación de efectos climáticos en la región.

Los efectos de la urbanización sobre el clima han sido objeto de investigación para algunos autores. Así, Carlson y Sánchez-Azofra (1999) y Carlson y Arthur-Hartranft (2000) analizan diversos parámetros microclimáticos, mediante imágenes multi-espectrales de teledetección, y, dadas las características del terreno, predicen un clima futuro. También en Arthur-Hartranft *et al.* (2003), a partir de patrones deducidos por teledetección.

ción y ciertos atributos físicos del lugar, combinados con un modelo de crecimiento urbano, con el cual se simulan escenarios futuros. En Solecki y Oliveri (2004) se modelizan los usos del suelo a partir de diversos escenarios de crecimiento urbano y emisiones.

La influencia del clima en la agricultura en particular se ha abordado a través de los llamados *modelos agrometeorológicos*. La mayor parte de estos modelos incluyen la componente climática y la agronómica (parámetros biofísicos) pero no la económica (parámetros socioeconómicos), a pesar de las recomendaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. De Beurs y Henebry (2004) efectúan análisis estadísticos de regresión en zonas agrícolas, con el fin de determinar la repercusión en el medio de los cambios en las prácticas agrarias y las variaciones climáticas interanuales. El modelo CGMS (Supit y Van der Goot, 2002; Van Raaij y Van der Wal (1994), se toma como referencia por la Comisión Europea para la predicción de la producción y la política agraria en Europa. Ambrosio *et al.* (2002 y 2003) usan este último modelo para evaluar el efecto y el riesgo de los cambios climáticos sobre la producción agrícola, integrando componentes climáticas, agronómicas y económicas, tanto en el espacio como en el tiempo.

7. Conclusiones

Como se pone de manifiesto en esta revisión bibliográfica, los usos del suelo están supeditados a numerosos factores, de diversa índole, y traen consigo consecuencias muy notorias y no siempre fáciles de predecir. La complejidad en la asignación eficiente de usos invita al análisis multidisciplinar e integrador de variables que es propio de la Economía Espacial, disciplina en la que se conjugan técnicas geográficas, estadísticas, econométricas, de valoración económica y de investigación social.

Pero muchas aproximaciones no superan la visión unidimensional hacia los factores biofísicos, descuidando otros aspectos del entorno que influyen en el destino de la tierra. Así se ha prestado menor atención a la consideración del proceso económico, atendiendo más a las relaciones causales de las opciones individuales que a los modelos económicos globales que subyacen en la evolución del territorio. Los datos socioeconómicos son omitidos a veces por la dificultad de su cuantificación y su georeferenciación, o por la complejidad metodológica para relacionar la información social con la física.

Aún haciendo un gran esfuerzo en identificar los factores influyentes, en muchos estudios se concluye que se debe tener presente que en la elección de suelo subyace un cierto principio de arbitrariedad, que lleva, por ejemplo, a que las empresas se establezcan con frecuencia en los lugares de origen de sus fundadores, más que en respuesta a unos patrones verdaderamente eficientes de localización. Esta arbitrariedad, añadida a los potentes intereses económicos que rigen las modernas sociedades con economías de mercado, puede llegar a primar sobre la calidad de vida, circunstancia ante la cual la intervención de los gobiernos se hace determinante.

En efecto, se apuntan en esta revisión algunas investigaciones en las cuales se demuestra que las modificaciones en los usos del suelo pueden repercutir serios impac-

tos sobre el medio ambiente y la sociedad. Los modelos deterministas se revelan como una herramienta poderosa para la cuantificación de estos impactos. Cobra especial relevancia la utilidad de algunos modelos para predecir efectos climáticos relacionados con el calentamiento global del Planeta. Así mismo la consideración de implicaciones territoriales adquiere especial importancia en el caso de las ciudades, en tanto que el desarrollo urbanístico no suele ser proporcional al crecimiento de la población, produciéndose por lo general una pérdida de espacio medio individual, concentrándose la demanda de materias primas y energía, así como la generación de residuos y contaminación.

En los albores del siglo XXI la teoría locacional se ve desafiada por la problemática ambiental, social y demográfica, y aún está por precisar cómo las nuevas tecnologías van a afectarla. Si bien las nuevas herramientas de trabajo facilitan la previsión de escenarios futuros y con ello la evaluación de políticas territoriales, no está claro que haya un argumento único capaz de proporcionar a las autoridades la iniciativa suficiente como para minimizar los costes económicos entendidos en su más amplio sentido.

Referencias bibliográficas

- AMBROSIO, L. (2003). Metodología para la evaluación de impactos y riesgos del cambio climático sobre agricultura española a nivel regional y de las explotaciones agrarias. Proyecto CCIREA del PN I+D+I 2000-2003. REN2001-3791/CLI. Informe Técnico. ETSI Agrónomos. Madrid.
- AMBROSIO, L., BALAIRÓN, L., GARRIDO, A., IGLESIAS, L., MARÍN, C. y SEBEM, E (2002). The use of CGMS for climate change impacts and risk assessments at regional and farm levels in Spanish agriculture. *First CGMS expert meeting. Joint Research Center*. European Union. Ispra (Italy).
- ARTHUR-HARTRANFT, S.T., CARLSON, T.N. y CLARKE, K.C. (2003). Satellite and ground-based microclimate and hydrologic analyses coupled with a regional urban growth model. *Remote Sensing of Environment*, 86 (3).
- BOONE, R.B., HUNTER JR. y M.L. (1996). Using diffusion models to simulate the effects of land use on grizzly bear dispersal in the Rocky Mountains. *Landscape Ecology*, 11 (1): 51-64.
- CARLSON T.N. y SÁNCHEZ-AZOFRA, G.A. (1999). Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in and around San José, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 70 (3): 247-256.
- CARLSON, T.N. y ARTHUR-HARTRANFT, S.T. (2000). The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 25 (1-2): 49-65.
- CHRISTALLER, W. (1967). *Central Places in Southern Germany*, trad. C. W. Baskin. Englewood Cliffs, New Jersey. (Publicado por vez primera en 1933).

- DARWIN, R., TSIGAS, M., LEWANDROWSKI y J., RANESES, A. (1996). Land use and cover in ecological economics. *Ecological Economics*, 17 (3): 157-181.
- DE BEURS, K.M. y HENEERY, G.M. (2004). Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: Analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4).
- DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2002). Forest management optimisation models when carbon captured is considered: a goal programming approach. *Forest Ecology and Management*, 5931: 1-11.
- DIOUF, A. y LAMBIN, E.F. (2001). Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48 (2): 129-148.
- EVANS, T.P., MANIRE, A., DE CASTRO, F., BRONDIZIO, E. y MCCracken, S. (2001). A dynamic model of household decision-making and parcel level land cover change in the eastern Amazon. *Ecological Modelling*, 143 (1-2): 95-113.
- FAULKNER, H., RUIZ, J., ZUKOWSKYJ, P. y DOWNWARD, S. (2003). Erosion risk associated with rapid and extensive agricultural clearances on dispersive materials in southeast Spain. *Environmental Science & Policy*, 6 (1): 115-127.
- FÉDOROFF, E., PONGE, J.F., DUBSC, F., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. y LAVELLE, P. (2004). Small-scale response of plant species to land-use intensification. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Article in Press
- GEOGHEGAN, J., WAINGER, L.A. y BOCKSTAEEL, N.E. (1997). Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS. *Ecological Economics*, 23 (3): 251-264.
- GLADE, T. (2003). Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *Catena*, 51 (3-4): 297-314.
- HANJIE, W. y HAO, Z. (2003). A simulation study on the eco-environmental effects of 3N Shelterbelt in North China. *Global and Planetary Change*, 37 (3-4).
- HAZEN, B.C. y BERRY, M.W. (1997). The simulation of land-cover change using a distributed computing environment. *Simulation Practice and Theory*, 5 (6): 489-514.
- HONNAY, O., PIESSENSA, K., VAN LANDUYT, W., HERMY, M. y GULINCK, H. (2003). Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning*, 63 (4).
- HOOVER, E.M. y GIARRATANI, F. (2003). *An Introduction to Regional Economics*. The Web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University.
- HUBACEK, K. y SUN, L. (2001). A scenario analysis of China's land use and land cover change: incorporating biophysical information into input-output modelling. *Structural Change and Economic Dynamics*, 12 (4): 367-397.

- HUIGEN, M.G.A. (2004). First principles of the MameLuke multi-actor modelling framework for land use change, illustrated with a Philippine case study. *Journal of Environmental Management*, 72 (1-2).
- IRWIN, E.G. y GEOGHEGAN, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85 (1-3):7-24.
- KAMMERBAUER, J. y ARDON, C. (1999). Land use dynamics and landscape change pattern in a typical watershed in the hillside region of central Honduras. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 75 (1-2): 93-100.
- LAMBIN, E.F., ROUNSEVELL, M.D.A. y GEIST, H.J. (2000). Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82 (1-3): 321-331.
- LAMBIN, E.F. *et al.* (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11 (4): 261-269.
- LANEY, R.M. (2004). A process-led approach to modelling land change in agricultural landscapes: a case study from Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101: 2-3.
- LOGSDON, M.G., BELL, E.J. y WESTERLUND, F.V. (1996). Probability mapping of land use change: A GIS interface for visualizing transition probabilities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20 (6): 389-398.
- LÖSCH, A. (1954). *The Economics of Localization*, trad. W. H. Woglom y W. F. Stolper. CT, New Haven. (Publicado por vez primera en 1940).
- MALTHUS, T.R. (1991). *Ensayo sobre los principios de la población*. Fondo de Cultura Económica. USA. (Publicado por vez primera en 1798).
- MAPEDZA, E., WRIGHT, J. y FAWCETT, R. (2003). An investigation of land cover change in Mafungautsi Forest, Zimbabwe, using GIS and participatory mapping. *Applied Geography*, 23 (1): 1-2.
- MARTÍNEZ, F. y DONOSO, P. (1996). *MUSSA: A behavioural land use equilibrium model with location externalities, planning regulations and pricing policies*. University of Chile.
- MATTHEWS, S., O'CONNOR, R. y PLANTINGA, A.J. (2002). Quantifying the impacts on biodiversity of policies for carbon sequestration in forests. *Ecological Economics*, 40 (1): 71-87.
- MICKLER, R.A., EARNHARDT, T.S. y MOORE, J.A. (2002). Regional estimation of current and future forest biomass. *Environmental Pollution*, 116, Supplement 1, S7-S16.
- MUNROE, D.K., SOUTHWORTH, J. y TUCKER, C.M. (2002). The dynamics of land-cover change in western Honduras: exploring spatial and temporal complexity. *Agricultural Economics*, 27 (3): 355-369.

- NIEHOFF, D., FRITSCH, U. y BRONSTERT, A. (2002). Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, 267 (1-2): 80-93.
- PAN, W.K.Y., WALSH, S.J., BILSBORROW, R.E., FRIZZELLE, B.G., ERLIEN, C.M. y BAQUERO, F. (2004). Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101 (2-3).
- PARKS, P.J., HARDIE, I.W., TEDDER, C.A. y WEAR, D.N. (2000). Using resource economics to anticipate forest land use change in the U.S. Mid-Atlantic region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 63: 175-185.
- PETERSON, J.T. y KWAK, T.J. (1999). Modelling the effects of land use and climate change on riverside smallmouth bass. *Ecological Applications*, 9: 1391-1404.
- PONGE, J.F., GILLETA, S., DUBS, F., FEDOROFF, E., HAESE, L., SOUSA, J.P. y LAVELLE, P. (2003). Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (6).
- RASMUSSEN, S. (2002). *Farm structure development under market economic conditions - Theoretical considerations and empirical evidence*. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Dinamarca.
- REMBOLD, F., CARNICELLI, S. NORI, M. y FERRARI, G.A. (2000). Use of aerial photographs, Landsat TM imagery and multidisciplinary field survey for land-cover change analysis in the lakes region (Ethiopia). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (3-4): 181-189.
- RICARDO, D. (1993). *Principios de economía política y tributación*. FCE, México. (Publicado por vez primera en 1817).
- ROBERTS, D.A., KELLER, M. y SOARES, J.V. (2003). Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the Large Scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 87 (4).
- ROMERO-CALCERRADA, R. y PERRY, G.L.W. (2004). The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*, 66 (4).
- SANZ-ELORZA, M., DANA, E.D., GONZÁLEZ, A. y SOBRINO, E. (2003). Estudio de cambios en la vegetación de alta montaña del Sistema Central de la Península Ibérica. *Annals of Botany*, 92 (2).
- SEM WAL, R.L., NAUTIYAL, S., SEN, K.K., RANA, U., MAIKHURI, R.K., RAO, K.S. y SAXENA, K.G. (2004). Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: a case study from central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (1).
- SOLECKI, W.D. y OLIVERI, C. (2004). Downscaling climate change scenarios in an urban land use change model. climate change scenarios in an urban land use change model. *Journal of Environmental Management*, 72 (1-2).

- SOLOMON, A.M. y LEEMANS, R. (1997). Boreal forest carbon stocks and wood supply: past, present and future responses to changing climate, agriculture and species availability. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84 (1-2): 137-151.
- SUPIT, I. y VAN DER GOOT, E. (2002). Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by the European Commission. <http://www.supit.cistron.nl/>
- TØMMERVIK, H., HØGDA, K.A. y SOLHEIM, I. (2003). Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data. *Remote Sensing of Environment*, 85 (3): 370-388.
- VAN RAAIJ, B.F.T. y VAN DER WAL, T. (1994). CGMS 3.1. Technical Description. DLO-Staring Centrum. Wageningen.
- VANACKER, V., GOVERS, G., POESEN, J., DECKERS, J., DERCON, G. y LOAIZA, G. (2003). The impact of environmental change on the intensity and spatial pattern of water erosion in a semi-arid mountainous Andean environment. *Catena*, 51 (3-4): 329-347.
- VELDKAMP, A. y FRESCO, L.O. (1996). CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects. *Ecological Modelling*, 85 (2-3): 253-270.
- VELDKAMP, A. y LAMBIN, E.F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85 (1-3): 1-6.
- VON THÜNEN, J.H. (1826). *Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und National Ökonomie*. Pergamon Press. Londres.
- WANG, Y. y ZHANG, X. (2001). A dynamic modelling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes. *Ecological Modelling*, 140 (1-2): 141-162.
- WEAR, D.N., TURNER, M.G. y NAUMAN, R.J. (1998). Land Cover along an Urban-Rural Gradient: Implications for water quality. *Ecological Applications*, 8 (3): 619-630.
- WEBER, A. (1929). *Alfred Weber's theory of the location of industries*. The University of Chicago Press. Chicago.
- WEGEHENKEL, M. (2002). Estimating of the impact of land use changes using the conceptual hydrological model THESEUS-a case study. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27 (9-10): 631-640.
- WILSON, W.L., ABERNETHY, V.J., MURPHY, K.J., ADAM, A., MCCRACKEN, D. I., DOWNIE, I.S., FOSTER, G.N., FURNESS, R.W., WATERHOUSE, A. y RIBERA, I. (2003). Prediction of plant diversity response to land-use change on Scottish agricultural land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94 (3): 249-263.
- YAMAMOTO, H., FUJINO, J. y YAMAJI, K. (2001). Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. *Biomass and Bioenergy*, 21 (3): 185-203.
- ZHAO, B., KREUTER, U., LI, B., MA, Z., CHEN, J. y NAKAGOSHI, N. (2004). An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy*, 21 (2).