

CAROLINA MARTÍ Y JOSEP PINTÓ

Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Departament de Geografia. Universitat de Girona

## *Pautas teórico-metodológicas para el estudio de la transformación del paisaje litoral de la Costa Brava*

### RESUMEN

El análisis a distintas escalas de los cambios en los usos y las cubiertas del suelo permite no sólo identificar las transformaciones de los paisajes litorales, sino también averiguar sus causas, reconocer la estructura del mosaico espacial y sus implicaciones ecológicas sobre los ecosistemas y, finalmente, proyectar las tendencias actuales sobre el paisaje futuro.

### RÉSUMÉ

*Règles théoriques et méthodologiques pour l'étude des transformations du paysage littoral de la Costa Brava.*- L'analyse à plusieurs échelles des usages et des couvertures du terrain permet non seulement d'identifier les transformations des paysages littoraux, mais encore d'en enquêter sur leurs causes, de reconnaître la structure de la mosaïque spatiale et ses implications sur les écosystèmes et, finalement, de projeter les tendances actuelles sur le paysage prochain.

### ABSTRACT

*Theoretical and methodological guidelines for the study of coastal landscape changes in the Costa Brava.*- The analyse of land use and land cover at several scales not only allows to identify the coastal landscape changes, but also to find out their causes, recognize the structure of spatial mosaic and its implications on the ecosystems and finally to prolong the current tendencies into the future landscape.

### PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Paisajes litorales, metodología, transformaciones espaciales, usos del suelo, Costa Brava.

Paysages littoraux, transformation spatiales, usages du sol, Costa Brava.

Coastal landscapes, spatial changes, land use, Costa Brava.

## 1. INTRODUCCIÓN

**E**l paisaje es un sistema dinámico donde todos los elementos, abióticos, bióticos y antrópicos, están interrelacionados. El paisaje es un concepto abstracto, resultado de la morfología visible (analizable a diferentes escalas de aproximación), el sistema de interrelaciones subyacentes y la imagen, la percepción, los valores culturales y estéticos que atribuimos a cada territorio. Eduardo Martínez de Pisón sintetiza que con el término «paisaje»

[...] nos referimos a las configuraciones concretas que adquieren los espacios y los elementos geográficos, a las formas materiales

que han resultado de un proceso territorial. Es decir, a la manifestación morfológica y fisionómica de una espacialidad concreta, producida por la suma de una evolución natural y un acontecer histórico. Y, de modo añadido, pero inevitable, también hacemos referencia a los significados culturales, representaciones e imágenes de tales formas geográficas: manejamos un concepto que incluye a la vez, pues, realidad objetiva y percibida, sentidos añadidos e incluso al hombre reconfigurador y perceptor del espacio (Mata y Sanz, 2003: 16).

Una concepción binomial que requiere de conocimientos científicos y sensibilidad.

Es en el ámbito científico-técnico de especialización naturalista o ambientalista donde se estudia la estructura y/o la funcionalidad del paisaje como sistema. Esta ver-

tiende territorial, pero también ecológica y cultural, deriva de la concepción de que el paisaje es fruto de la dinámica natural que el territorio tiene como ecosistema y de las alteraciones y/o transformaciones que las actividades humanas producen sobre este sustrato. Es, en palabras de J.-C. Lefeuvre, el producto de las interacciones entre naturaleza y sociedad (Burel y Baudry, 2002: xv). Para el biogeógrafo alemán Carl Troll, pionero de la ecología del paisaje (1939), el paisaje es concebido como un sistema territorial constituido por diferentes componentes: litología, estructuras geológicas, clima, aguas, suelos, vegetación, fauna y actividad humana; o también como la combinación entre un subsistema físico (litosfera, hidrosfera, atmósfera), un subsistema biótico (suelos, vegetación, fauna) y un subsistema antrópico, formado y organizado por la actividad humana. Los cambios sufridos por un elemento del sistema o subsistema (cambios climáticos, erosión, incendios forestales, dinámica de la vegetación, actividad humana, etc.) afecta a los otros componentes y, como resultado, el conjunto entero sufre modificaciones. Desde la ecología del paisaje se relacionan las estructuras espaciales, estudiadas desde el ámbito geográfico, con los procesos ecológicos que tradicionalmente ha analizado la ecología. Por lo tanto, un estudio sobre el paisaje debe incluir el resultado de las relaciones entre estructura, forma y funcionalidad.

#### 1.1. CAMBIOS EN LOS USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO Y TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE

Asumiendo que el paisaje es un sistema de organización jerarquizado y que la dinámica paisajística depende de las relaciones entre las actividades humanas y el territorio donde éstas se implantan, hay que discernir cuáles son los factores condicionantes de la organización, las variables de cambio y las transformaciones detectables en cada uno de los ámbitos de estudio.

La transformación de los usos y las cubiertas del suelo es el resultado de múltiples procesos que se desarrollan en un mismo espacio y que interactúan entre ellos. Cada uno de estos procesos opera sobre un rango de escalas espaciales y temporales. Estos procesos están condicionados por una o varias variables que influyen las acciones de los agentes implicados en el cambio de usos y cubiertas del suelo. Determinar cuáles son estas fuerzas condicionantes es a menudo una cuestión problemática. Los factores condicionantes pueden ser demográficos, económicos, tecnológicos, culturales, políticos e institucionales, y biofísicos (Turner II y

otros, 1995). Pero no existe ninguna fórmula o teoría que unifique o establezca cuáles son los procesos relevantes en cada dinámica de cambio de usos del suelo. El conocimiento de los usos y cubiertas del suelo, tanto de hoy como del pasado, su análisis comparativo e interpretación se convierten en contenidos indispensables para la gestión futura del territorio. Como cada nivel de aproximación escalar varía el análisis y la identificación del sistema de usos del suelo y de sus procesos condicionantes, la investigación se orienta a responder las siguientes cuestiones:

- a) el porqué de los cambios: qué variables medioambientales y culturales, sociales y económicas son las que más contribuyen a explicar los cambios en las cubiertas del suelo;
- b) el dónde de los cambios: la localización geográfica de las áreas donde se producen las transformaciones en el paisaje;
- c) el cuándo de los cambios: en qué momentos históricos pasados o presentes se han producido o se dan los cambios en los usos del suelo, además de determinar cuál es la tasa de progreso de dichos cambios.

Los modelos de cambio de usos del suelo son herramientas útiles para entender las causas y las consecuencias de los rápidos cambios en los usos del suelo. Son necesarios para vislumbrar y ordenar el complejo conjunto de factores socioeconómicos y biofísicos que influyen las tasas y el patrón espacial de los cambios de usos del suelo y para estimar los impactos sobre los propios cambios de usos del suelo. Consecuentemente, los modelos tienen la capacidad de predecir los posibles desarrollos en el sistema de usos del suelo futuro y esbozar las repercusiones territoriales, elementos básicos para la toma de decisiones.

En consecuencia con lo anterior, en el análisis de la transformación del paisaje de la Costa Brava se pretendió la consecución de los siguientes objetivos:

- 1) Realizar un análisis paisajístico del ámbito regional de toda la Costa Brava (66.230 ha).
- 2) Elaborar la cartografía de usos y cubiertas del suelo de tres periodos temporales y la consecuente interpretación espacial para cada etapa: 1957 (situación preturística), 1980 (inicio de las actuaciones de los ayuntamientos democráticos) y 2003 (actualidad).

- 3) Analizar, mediante la cartografía de usos y cubiertas del suelo de los tres periodos mapeados (1957, 1980, 2003), la evolución de la transformación de los usos y las cubiertas del suelo a partir de análisis cuantitativos de las relaciones espaciales asociadas al cambio: cuáles han sido los principales cambios, qué usos y cubiertas han sido los más afectados, dónde se han producido las modificaciones. Todo para llegar a definir cuál ha sido la dinámica de los cambios acaecidos en los últimos casi cincuenta años.
- 4) Estudiar, a partir de la aplicación de los principales índices de la ecología del paisaje, la estructura paisajística de cada uno de los cortes temporales. Al analizar la geometría de la conversión de los usos y las cubiertas del suelo se puede concluir cuáles han sido las repercusiones ecológicas y paisajísticas de estos cambios: la heterogeneidad, la fragmentación y la conectividad de cada una de las manchas respecto al resto de usos y cubiertas del territorio.
- 5) Buscar, mediante la información ya procesada, las tendencias de cambio a partir de modelos de cambio de usos y cubiertas del suelo. Para entender el funcionamiento de los cambios y la organización de un paisaje tan humanizado será necesario, paralelamente, buscar los factores biofísicos y antrópicos, sociales y económicos, condicionantes y responsables de una diferente utilización del territorio y, consecuentemente, explicativos del cambio en cada uno de los periodos. Por lo tanto, será indispensable realizar un análisis multivariable para descubrir el conjunto de factores que influyen en la tasa y el patrón espacial de cambio de usos y sus consecuencias territoriales.
- 6) Aplicar un modelo de regresión para proyectar la tendencia actual de cambio sobre un periodo temporal futuro. Presentado este escenario, se modificará la tendencia de las principales variables de cambio para plantear escenarios alternativos, la herramienta básica para la planificación futura del territorio y para el control de las problemáticas ambientales.

## 2. BASES TEÓRICAS

Para estudiar y comprender la organización territorial de la sociedad y del paisaje existen muy distintos

enfoques metodológicos. Cada enfoque responde a los procedimientos establecidos por las diferentes tradiciones disciplinares a las que pertenecen y a los diversos objetivos de interés de cada una. Investigadores de las ciencias sociales analizan, en la microescala y con un enfoque descriptivo, los comportamientos individuales de la relación sociedad-medio. Geógrafos y ecólogos agregan la información muy detallada para conseguir patrones de localización espacial y dinámicas de cambio que integrarán a nivel de meso/macroescala.

### 2.1. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL PAISAJE

Cada paisaje está dotado de una determinada estructura. El paisaje está formado por elementos diversos, de diferentes tamaños, formas y disposiciones espaciales. Estos elementos, una vez individualizados, se clasifican en teselas (manchas o piezas del mosaico), corredores (elementos lineales, conectores) y matriz (el patrón dominante del paisaje). Y la labor básica para identificar cada uno de estos elementos, para analizar y comparar paisajes, y para estudiar las relaciones entre sus características ecológicas y sus estructuras paisajísticas, es la mapeación del territorio.

En los paisajes, como sistemas complejos, se desarrollan conjuntos de fenómenos detectables a diferentes escalas espacio-temporales. Esta distinta aproximación analítica que cada ámbito de espacio y tiempo requiere debe ser afrontada metodológicamente a partir de la teoría de la jerarquía. Esta organización jerárquica demuestra que existe una correlación entre las escalas espaciales y temporales:

- a) En niveles jerárquicos superiores, los fenómenos se desarrollan sobre grandes superficies y tienen una dinámica muy lenta. Estos fenómenos constituyen el marco de funcionamiento, fijan el contexto de desarrollo de los procesos, presentan vínculos débiles de interacción entre los elementos y juegan un papel imperante en imponer restricciones sobre los niveles inferiores.
- b) En niveles inferiores de la jerarquía actúan fenómenos rápidos y sobre reducidos espacios. De ahí se deriva que los fenómenos con velocidades de funcionamiento muy diferentes interactúen muy poco.

De este principio se deriva que

- a) un método de análisis del paisaje es considerar varios niveles en la jerarquía espacial, donde en cada nivel se identificarán unos factores explicativos del proceso estudiado (Pintó, 2010);
- b) en el paisaje se pueden identificar gamas de escalas diversas donde se desarrollan procesos con distintas velocidades, con diferentes radios de acción y con múltiples intensidades de interacción;
- c) no existe a priori una descripción universal de un paisaje, sino que ésta viene definida por el observador/investigador y su objetivo.

En consecuencia, para hacer una simplificación de la realidad y para organizar jerárquicamente el territorio en función de los objetivos de cada investigación, resulta capital mapear los usos y las cubiertas del suelo a partir de unas categorías que se ajusten a la realidad observable. B. L. Turner II (y otros, 1995: 27) evidencia que «los usos y las cubiertas del suelo no constituyen ningún gran enigma intelectual, aunque, sin embargo, son un componente esencial de los misterios sobre nuestras relaciones con la naturaleza». La cartografía de usos y cubiertas del suelo es la base para el análisis espacial; es el requerimiento indispensable para la posterior traducción en variables métricas. Unas variables métricas que, al dotar de sentido ecológico las medidas del mapa, se convertirán en indicadores. Por un lado, los indicadores se pueden utilizar bien para caracterizar las condiciones del paisaje, la composición, el patrón o la forma, bien para detectar los cambios de los usos y las cubiertas del suelo a lo largo del tiempo. El cálculo de índices de ecología del paisaje suministra información cuantitativa para la comprensión de la estructura funcional de cada uno de los elementos que integran el paisaje: fragmentación, conectividad, heterogeneidad, procesos de sucesión... Ambas metodologías resultan básicas de aplicar sobre los paisajes actuales para conocer y controlar el desarrollo de los fenómenos espaciales, y necesarias para optimizar la gestión futura de los recursos naturales y para corregir y mejorar la ordenación del espacio ya artificializado.

El estudio de la estructura y las transformaciones de los paisajes pasa por la identificación e individualización de los usos y las cubiertas del suelo. Las definiciones propuestas por Turner II (Turner II y otros, 1990, 1993 y 1995) son las más extensamente utilizadas y a la vez las adoptadas por programas de investigación de ámbito internacional. Se llama «cubierta del suelo» (*land cover*) (Lucc, 1995; Lambin y otros, 1998) a la capa de suelo y biomasa: la vegetación natural, el espacio agrícola y las

estructuras humanas que cubren la superficie de la Tierra. Burel y Baudry lo definen como «la ocupación del suelo», el estado físico de las tierras. Por otra parte, usos del suelo (*land use*), o «la utilización de las tierras», hace referencia a la explotación que los humanos realizamos de cada una de las cubiertas del suelo (Burel y Baudry, 2002: 121).

## 2.2. TIPOLOGÍA DE USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO Y ESTRUCTURA PAISAJÍSTICA

Existe una enorme variedad de tipologías clasificatorias de las cubiertas del suelo. Esta diversidad viene condicionada por los distintos contextos geográficos, por la disparidad de objetivos de los estudios y, sobre todo, por las diferentes aproximaciones escalares, espaciales y temporales. Sin embargo, cabe destacar que esta diversidad siempre estará supeditada a las fuentes de información de que se dispone y al proceso de distinción y análisis de los datos espaciales que se emplee. Burel y Baudry (2002) proponen que para analizar espacialmente un territorio hay que disgregar el paisaje en unidades elementales, ya que las medidas obtenidas de su estudio pueden variar según la posición y escala adoptadas. Desde las nueve categorías de usos y cubiertas del suelo de la clasificación del nivel I de Anderson y otros (1976) hasta las 159 clases que distingue Loveland (1991) existe una amplia gama de esquemas no estandarizados y, a menudo, no generalizables que los estudiosos deben adecuar a cada uno de los análisis concretos. Obviamente, no se trata de una diversidad incoherente y menos inconexa, sino ajustada a las necesidades y objetivos de cada uno de los estudios. Para sistematizar la aplicación de determinadas categorías de usos y cubiertas del suelo, en este estudio se utiliza una leyenda jerárquica que se adapta a la diferente composición del territorio según la escala de análisis.

## 2.3. DIAGNOSIS DE LA TRANSFORMACIÓN PAISAJÍSTICA

Para poder analizar la dinámica global de los usos y las cubiertas del suelo en el conjunto de la Costa Brava se ha abordado la identificación y descripción cualitativa y cuantitativa de los cambios en el mosaico paisajístico. Este análisis ha permitido:

- 1) detectar y cuantificar, a partir de la secuencia de cambio de usos (*land use change sequence*) y de

las matrices de conversión (*land use conversion matrix*), las transiciones entre los diferentes usos y cubiertas del suelo y los patrones de localización geográfica y, por lo tanto, hacer un seguimiento de los intercambios entre los diferentes componentes del mosaico paisajístico;

- 2) parametrizar los factores responsables de los cambios;
- 3) ubicar las variaciones geográficas y temporales de los usos y las cubiertas del suelo, y analizar los modelos de comportamiento;
- 4) evidenciar las repercusiones de estas dinámicas sobre la estructura paisajística actual y futura.

#### 2.4. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE

Los análisis del paisaje llevados a cabo desde la perspectiva de la *landscape ecology* ponen énfasis en las influencias y los efectos que los mosaicos o patrones espaciales ejercen sobre los procesos ecológicos (Forman y Godron, 1986; Turner, 1989).

Los mosaicos espaciales resultan de las interacciones entre los condicionantes ambientales naturales y las actividades humanas en un territorio determinado y constituyen fenómenos únicos que emergen al nivel del paisaje. Estos mosaicos están formados por un conjunto de parcelas, de origen natural o más o menos condicionadas por la acción humana, que se diferencian en el tipo, el tamaño, la forma y la disposición en el espacio. Un mismo territorio puede responder a estructuras espaciales y funciones diferentes según el objetivo del estudio y la escala de análisis. Consecuentemente, no existe ningún tamaño territorial ni escala de estudio establecido para estudiar un paisaje, ya que el paisaje varía en función de los organismos, ecosistemas, unidades, relaciones o fenómenos que se desee analizar.

Así pues, las tres características básicas de un paisaje son

- a) la estructura, la cual depende de la relación espacial entre los diferentes elementos o, dicho de otro modo, los flujos de energía, materia y especies entre ecosistemas;
- b) la función, basada en las interacciones y/o intercambios entre los diferentes componentes o ecosistemas, y

- c) la dinámica de cambio, la que evidencia las variaciones bien de la estructura, bien de las funciones del mosaico paisajístico a lo largo del tiempo.

##### 2.4.1. Componentes del mosaico paisajístico

Cuando ecólogos del paisaje definen qué es el paisaje, como Zonneveld (1995) («un complejo de sistemas que simultáneamente forman una extensión de terreno identificable, formada y mantenida por la acción mutua de factores abióticos, bióticos y humanos») o como Forman y Godron (1986) («es una extensión de terreno compuesta por una agregación de componentes que interactúan y se repiten a través del espacio»), se refieren al mosaico paisajístico que forman los elementos del paisaje, a la disposición concreta que éstos toman dentro del mosaico y a las relaciones funcionales de cada elemento hacia el resto.

La composición de un paisaje comprende la variedad y la abundancia de tipos de elementos o fragmentos diferentes dentro de un mismo paisaje. La configuración del paisaje se refiere a la distribución de estos fragmentos dentro del paisaje y la ubicación de unos elementos respecto a los demás.

El análisis del mosaico espacial parte de la diferenciación de tres tipos de elementos principales: fragmentos o teselas (*patches*), corredores (*corridors*) y matriz (*matrix*). Los fragmentos o teselas son las unidades básicas del paisaje. Son áreas relativamente homogéneas de carácter no lineal que difieren de su entorno, aunque internamente pueden presentar cierta microheterogeneidad distribuida a lo largo del fragmento. Su definición, al igual que en el propio paisaje y en el resto de elementos constitutivos del paisaje, está en función del fenómeno objeto de estudio. Por ello, la delimitación de estas teselas es un proceso artificial que se ajusta y toma sentido a una escala determinada. Las teselas son dinámicas tanto en la escala temporal como en la espacial. Por lo tanto, todo paisaje se puede definir conforme a una jerarquía de mosaicos de fragmentos que varía según el rango de escala espacial de estudio.

Los corredores son estructuras de disposición lineal, de características diferentes a su entorno circundante, las cuales suelen conectar áreas de interés, fragmentos más grandes de hábitat, para evitar el aislamiento de éstos. El conjunto de corredores interconectados entre ellos forman una red.

La matriz es el elemento predominante y más conectado de todos los elementos del paisaje. Engloba el conjunto de teselas y corredores, su dinámica interna y

las conexiones entre sí, y tiene un rol dominante en el funcionamiento general del mosaico paisajístico.

#### 2.4.2. Índices de análisis de la composición y configuración del mosaico paisajístico

El desarrollo de una gran cantidad de índices cuantitativos permite la caracterización del mosaico paisajístico, la comparación entre paisajes diferentes y la identificación de los cambios más significativos producidos por el paso del tiempo, y, además, establece relaciones entre el mosaico paisajístico y las funciones ecológicas.

Los índices de ecología del paisaje pueden ser de tres tipos según si se refieren al conjunto del paisaje (*landscape level*), a las categorías o clases del mapa (*class level*) o a los fragmentos individuales (*patch level*).

Los índices a nivel de paisaje son medidas sintéticas que hacen referencia al conjunto de todos los usos y cubiertas del suelo que componen el mosaico paisajístico. Estos índices resultan de los cálculos (sumas, medias, etc.) realizados a partir de cada una de las categorías y los fragmentos individuales. Suelen considerarse indicadores de la heterogeneidad del paisaje.

Los índices de categorías o clases analizan la estructura espacial de cada una de las categorías de usos y cubiertas del suelo o de elementos del paisaje. Se calculan a partir de los datos procedentes de los elementos individuales de cada clase, a partir de sumas, medias, etc. Estos índices son medidas indicadoras de la fragmentación de cada categoría.

Los índices que tratan los fragmentos individuales son medidas cuantitativas basadas en el tamaño y la configuración espacial de cada polígono del mosaico paisajístico a nivel individual. Éstos pueden considerarse, en general, como medidas indicadoras de la forma de los polígonos y suelen mostrar la desviación del fragmento estudiado respecto a la media de la categoría que lo incluye o del paisaje en su conjunto.

Los índices aquí desarrollados gravitan en torno a tres aspectos:

- a) la medida de los atributos de las teselas o *parches*, polígonos considerados individualmente (área, forma, perímetro, relación perímetro-área, proximidad al polígono más cercano, etc.);
- b) la distribución espacial en el paisaje de un tipo determinado de polígono (riqueza, abundancia relativa, dominancia, uniformidad, distancia entre polígonos de un mismo tipo, etc.), y

- c) el mosaico paisajístico general, considerando el conjunto de todos los polígonos (conectividad, contagio, etc.).

Como estos índices cuantifican el mosaico paisajístico como una instantánea, para determinar la importancia ecológica del valor calculado en el patrón del paisaje se analizan diversos periodos temporales (1957, 1980, 2003) mediante las medidas que se han considerado más representativas para la caracterización de los paisajes.

#### 2.5. TENDENCIAS DE CAMBIO Y MODELIZACIÓN

Uno de los principales retos de los estudios sobre el cambio de la utilización del suelo consiste en desarrollar unos modelos que permitan conciliar los conocimientos de la ciencia social, ricos pero cualitativos y algunas veces circunstanciales, con la demanda de unos modelos sociales que permitan generalizar y establecer proyecciones cuantitativas sobre el territorio.

Para estudiar los procesos de cambio, se debe, primero, esbozar cuáles son las problemáticas, para luego profundizar en la descripción del sistema (Verburg y Veldkamp, 2001). Hay que localizar las áreas críticas con altas tasas de cambio e identificar los factores causantes de estas dinámicas, en todas las escalas, desde el nivel individual (donde se toman diariamente las decisiones), pasando por el ámbito local (el más directamente influyente dadas las competencias en planeamiento urbanístico), hasta la escala regional (donde se manifiestan las tendencias de cambio impuestas a niveles superiores).

El estudio de procesos de cambio de la superficie terrestre requiere tres niveles de aproximación:

- 1) medidas directas del porcentaje, ubicación, características espaciales y temporales de los cambios de la superficie terrestre;
- 2) estudio de casos e investigaciones de campo para entender un poco mejor la dinámica de los cambios de la superficie terrestre a escala local;
- 3) identificación de factores a gran escala que conllevan los cambios de la superficie terrestre y permiten la proyección de las tendencias futuras. La monitorización de los cambios de usos y cubiertas del suelo resulta más útil cuando se lleva a cabo junto con la comprensión de las fuerzas que lideran los cambios y la predicción de sus impactos. Esto puede conseguirse aún mejor mediante

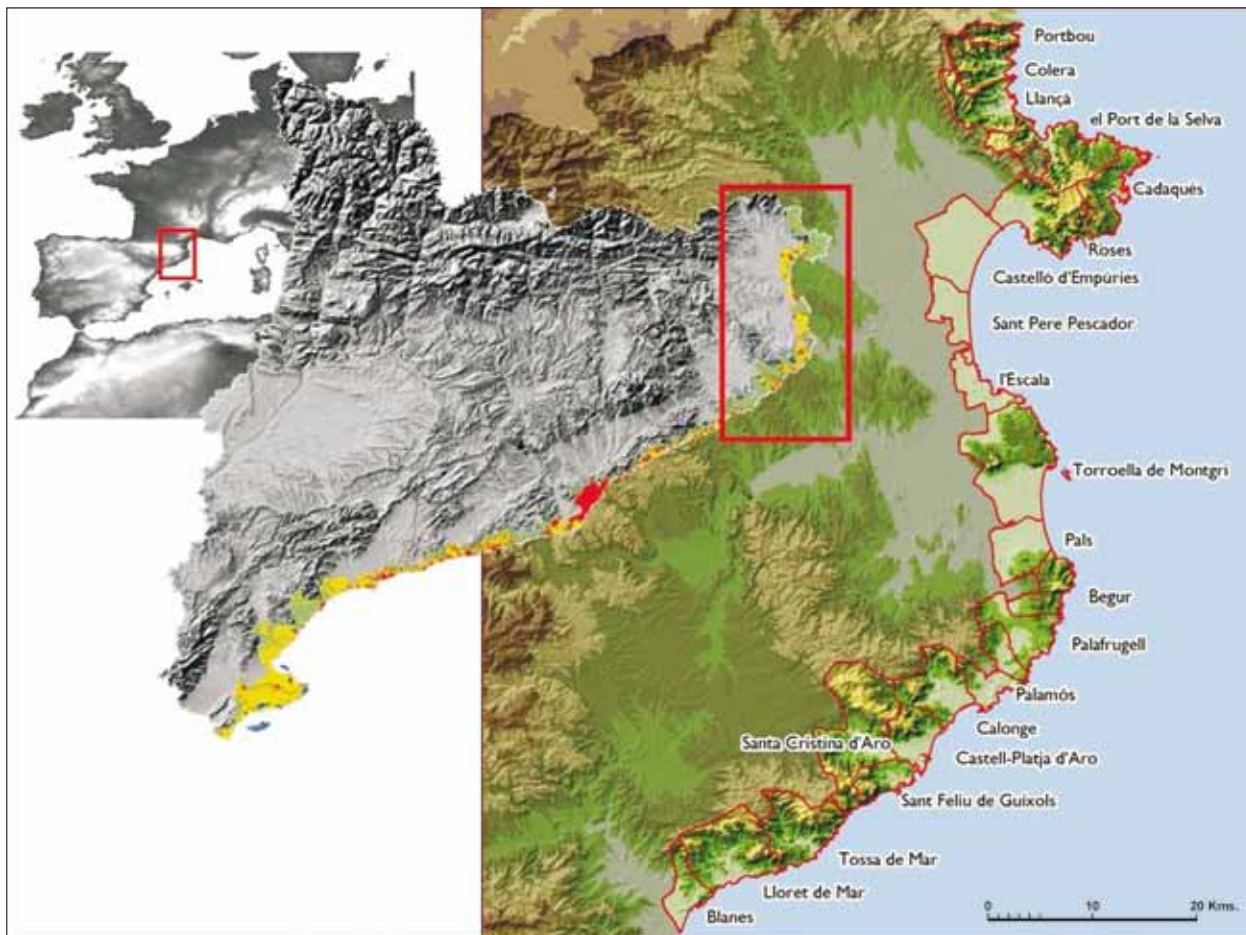


FIG. 1. Contexto territorial.

el diseño de modelos de simulación cuantitativa que se puedan desarrollar de forma realista y que incorporen los efectos de las variables clave que impulsan los cambios en la utilización del suelo (Riesbame y otros, 1994).

Para estimar las transformaciones futuras hay que partir de la organización territorial actual y de las tendencias de cambio detectadas en los últimos años y calcular los ritmos de variación a partir del análisis de Markov, la cual proporciona una aproximación a la modelización de las dinámicas de cambio de un paisaje a partir de matrices de transición. El principio que sigue el modelo de cadenas de Markov es que, a partir de un presente conocido, el futuro es dependiente del pasado. El objetivo es, pues, identificar los procesos clave en el cambio de usos del suelo, el cálculo de las probabilidades de cambio de este estado y el lapso de tiempo para las transiciones

entre los diferentes periodos. Mediante las cadenas de Markov se puede estimar la tendencia de cambio de un sistema a partir de los estados iniciales. Por lo tanto, si se conoce el modo en el que cambia un uso del suelo a otro a lo largo del tiempo en una zona de estudio concreta, se puede llegar a conocer cómo podría estar estructurado el paisaje en un futuro próximo. Todo para conocer si el cambio es predecible mediante este método o, por el contrario, si la transformación tiene un comportamiento aleatorio e impredecible, o dominado por variables externas no medibles.

Los modelos matriciales de Markov son adecuados para simular gran variedad de sistemas dinámicos, como las comunidades vegetales o paisajes (Acevedo y otros, 1995; Childress y otros, 1998). Sólo son correctamente aplicables cuando el sistema a modelizar tiene unas probabilidades de transición en el tiempo consistentes y unos estados o clases adecuadas (Li, 1995). A pesar de ser un

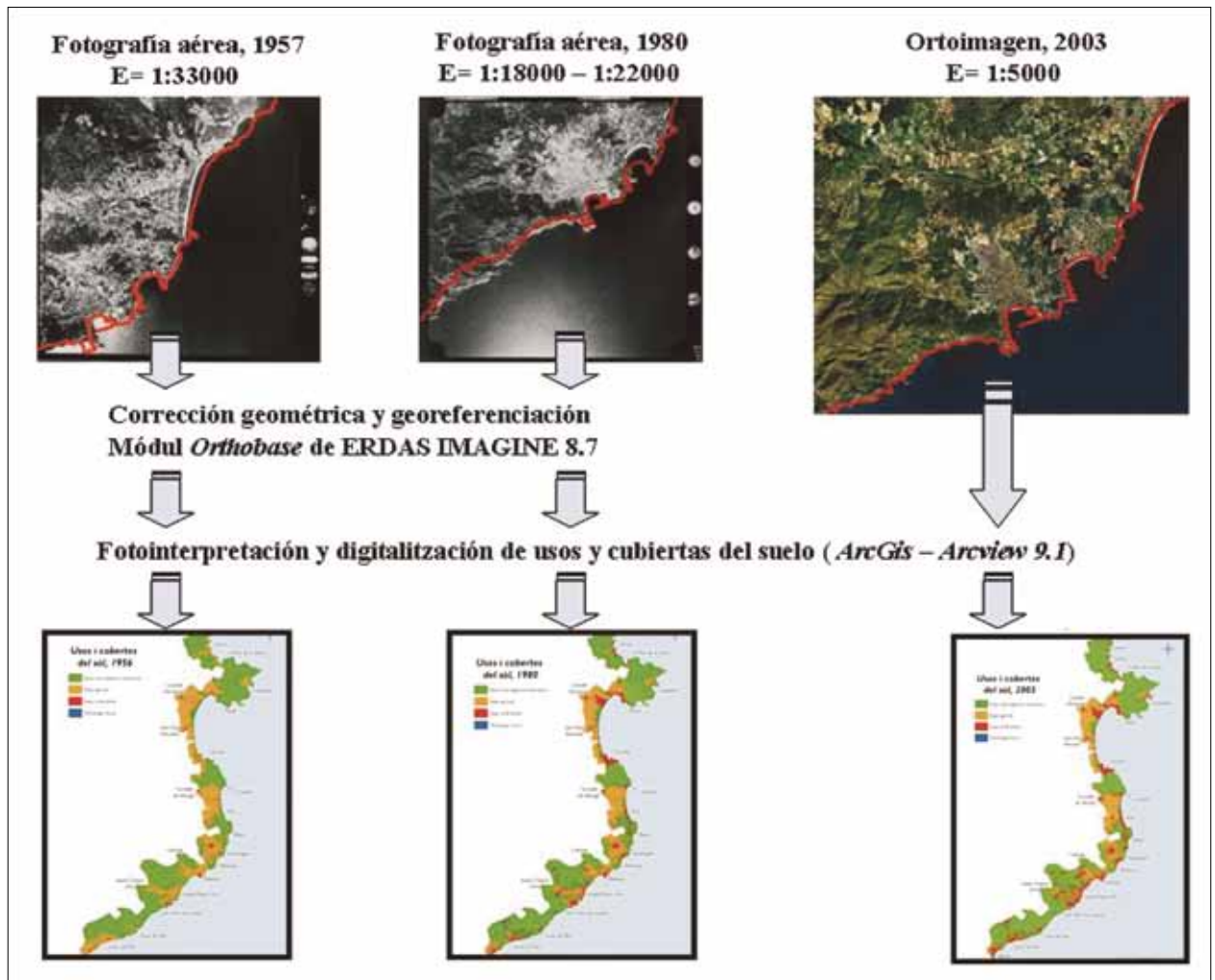


FIG. 2. Proceso metodológico de corrección de las fotografías aéreas y digitalización.

modelo teórico, refleja bien la evolución de los distintos estados en el tiempo en unas condiciones inalterables, por lo que puede dar una idea aproximada de los cambios esperados en nuestro mosaico paisajístico.

### 3. PROCESO METODOLÓGICO

#### 3.1. ÁREA Y PERIODO DE ESTUDIO. CRITERIOS DE ELECCIÓN

##### 3.1.1. *Justificación del contexto geográfico de la Costa Brava*

El área de estudio se limita a los 22 municipios estrictamente litorales de la costa gerundense por ser la zona

que tradicionalmente se ha denominado Costa Brava. Las cualidades paisajísticas que definían este territorio pronto fueron utilizadas como marca turística, motivo de atracción que, junto a la progresiva popularización del turismo de sol y playa, potenciada por las políticas desarrollistas de la etapa franquista, creó nuevas inercias económicas y rotundos cambios territoriales, los cuales provocaron graves consecuencias ambientales. La especulación del suelo más las ansias de crecimiento urbanístico, como muestra de modernización, prontamente generaron resultados nefastos: la rigidización de la estricta línea costera, la ocupación difusa de las laderas de las montañas litorales, el abandono de los sistemas productivos tradicionales y la consiguiente transfiguración de los ecosistemas litorales. La antigua zonación del mosaico tradicional y



su compacidad se diluyeron progresivamente para dar paso a un paisaje a menudo caótico, con yuxtaposición de elementos discordantes de graves repercusiones paisajísticas y ambientales.

### 3.1.2. Justificación temporal

Para caracterizar la situación inicial del paisaje de la Costa Brava antes de la explosión turística se han empleado las imágenes tomadas por el ejército americano en los años 1956 y 1957, por ser la primera vez en que se dispone de fotografía aérea con cobertura completa para el área de estudio apta para fotointerpretar, y por ser el periodo de inicio de profundos cambios en el litoral gerundense. Un segundo corte temporal se realizó a finales de la década de 1970, al disponerse de vuelos realizados por el Instituto Geográfico Nacional que recubrían todo el territorio, coincidiendo con el final del régimen franquista y el inicio de la gestión de los ayuntamientos democráticos. El tercer periodo corresponde a la situación actual, donde se han utilizado las ortoimágenes en color y a escala 1:5000 del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

## 3.2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Las fotografías del primer periodo corresponden exactamente a la campaña del vuelo americano de 1956-1957, realizada a una escala aproximada de 1:33.000 y en blanco y negro, del Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire, Ministerio de Defensa.

Para el segundo periodo se eligieron los vuelos entre 1977 y 1980 (periodo que aquí se llamará de 1980), a escala 1:18.000-1:22.000. Para minimizar los errores derivados de la utilización de resoluciones diferentes, los contactos se escanearon a alta definición. Además, en el caso de que entre zonas adyacentes hubiera un cambio de año de vuelo y/o de escala, se revisaron las fotografías aéreas de años anteriores y posteriores de ambos fotogramas para comprobar el ajuste de los polígonos digitalizados.

El tercer periodo corresponde a la situación actual, donde se han utilizado las ortoimágenes digitales en color, a escala 1:5.000 y con una resolución de píxel de 0,5 m, del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC). Paralelamente, para facilitar la digitalización, sobre todo de los usos que corresponden a vegetación espontánea, se han utilizado los ortofotomapas del infrarrojo cercano, en falso color, a escala 1:25.000, con una reso-

lución de píxel de 2,5 m, también del ICC, donde la reflectancia de la vegetación es mostrada en tonalidades rojizas. Igualmente para este periodo, la cobertura de todos los ortofotomapas de color, tanto a escala 1:5.000 como 1:25.000, no corresponde a un mismo año. Ambas series de ortofotos corresponden a la campaña cartográfica 2001-2003, aunque en este caso los usos posteriormente digitalizados se han podido actualizar corroborándolos sobre el terreno. En total, se han utilizado 156 ortoimágenes en color a escala 1:5.000 que han cubierto todo el territorio de la Costa Brava, y 28 ortoimágenes infrarrojo en falso color, escala 1:25.000, han servido de apoyo a la distinción de los usos y cubiertas del suelo.

## 3.3. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Para poder comparar la información procedente de las fotografías aéreas con los ortofotomapas, aquéllas se han debido digitalizar y rectificar geométricamente. En el proceso de ortorrectificación de todos los contactos se ha empleado el módulo específico Orthobase del *software* Erdas Imagine 8.4. En total, se han tratado 220 fotografías aéreas; 98 contactos corresponden al vuelo de 1956-1957 a escala aproximada de 1:33.000 y 124 pertenecen al periodo 1977-1980. El número total de imágenes de este segundo periodo es superior porque las fotografías están tomadas a mayor resolución, a una escala de más detalle que oscila, según la zona y la campaña cartográfica, entre las escalas 1:28.000, 1:22.000 y 1:18.000. El resultado de este proceso es un mosaico de imágenes planimétricamente correctas y georreferenciadas aptas para ser fotointerpretadas y comparadas con los ortofotomapas digitales actuales.

## 3.4. FOTOINTERPRETACIÓN, DIGITALIZACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO

La fotointerpretación y digitalización de los usos y cubiertas del suelo se ha elaborado con los programas de SIG: Arcview 3.2, en una fase inicial, y ArGis-ArcView 8.3 y 9.1 (ESRI).

En el caso de que algún uso o cubierta del suelo de alguna parcela no se distinguiera con suficiente claridad, se consultaron documentos auxiliares como el catastro, fotografías panorámicas de la zona o, en algunos casos, se pudo entrevistar directamente a propietarios o vecinos conocedores del entorno.



FIG. 3. Comparativa fotográfica: Roses, 1930- 2005.

### 3.5. FOTOGRAFÍA OBLICUA COMO APOYO

Uno de los recursos gráficos que cabe destacar es la utilización de fotografía oblicua, de baja altura. La selección de fotografías panorámicas o postales de paisajes, procedentes de archivos históricos o de colecciones particulares, ha proporcionado una información de extrema valía. Al no ser perpendiculares al suelo, permiten identificar con gran facilidad elementos singulares, los cuales sirven de referencia para poder repetir la fotografía en la actualidad y comparar detalladamente las diferencias paisajísticas. Además, al ser tomadas oblicuamente, permiten ver cuál era la sección longitudinal de los diferentes paisajes, sobre todo por lo que respecta a las alturas del espacio construido y de las formaciones vegetales, parámetro imposible de medir a partir de las fotografías aéreas verticales.

Tal como presenta Maria de Bolòs (1992: 202), uno de los principales problemas que presenta la utilización de este recurso gráfico es el desconocimiento de su datación exacta, ya que usualmente no consta explícitamente en el documento. En algunos casos se puede saber con plena certeza a partir de los registros de los archivos fotográficos, dado que el autor, para cada serie fotográfica, registraba número de fotografía y fecha de realización. Sin embargo, a menudo sólo se puede llegar a aproximaciones y se determina el año, o con menor precisión la década, a través de la presencia o ausencia de elementos conocidos.

### 3.6. VERIFICACIÓN DE USOS A PARTIR DEL TRABAJO DE CAMPO

Después de una primera fase de fotointerpretación se realizó un muestreo aleatorio escogiendo el 20 % de parcelas pertenecientes en una hoja, y fue verificada en el campo para validar el criterio de interpretación y corregir los casos dudosos. Gracias a la actualidad de los

ortofotomapas del ICC (2002-2003) y al detalle de su escala (1:5.000), los usos y cubiertas presentes se pudieron afinar con una buena precisión, dando la validación del muestreo efectuado un error inferior al 5 %.

### 3.7. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS CONDICIONANTES DE LOS CAMBIOS

Los cambios en los usos y cubiertas del suelo se producen en espacios y periodos de tiempo determinados. Para establecer las posibles correlaciones con las características biofísicas de los sectores donde se han producido las transformaciones, así como con las variables socio-económicas dominantes en cada periodo temporal, se efectúa un análisis de aquellos parámetros que, a priori, se considera que pueden estar relacionados con los procesos de cambio.

A tal efecto se estudian, para toda la Costa Brava, la morfología del territorio, las pendientes y las orientaciones a partir del modelo digital de elevaciones del ICC (matriz regular de resolución 30 x 30 m), la hidrografía y el paisaje vegetal a partir de la cartografía temática elaborada a escala 1:5.000. En cuanto a las variables socio-económicas, se analiza la evolución demográfica a lo largo del siglo XX de los 22 municipios litorales gerundenses a través de los archivos del Instituto Nacional de Estadística y de las series municipales disponibles en la web del Instituto de Estadística de Cataluña (<[www.idescat.es](http://www.idescat.es)>).

### 3.8. ESTABLECIMIENTO DE UNA TIPOLOGÍA PARA LA CARTOGRAFÍA DE LOS USOS Y LAS CUBIERTAS DEL SUELO

Previamente al estudio de la estructura y los procesos de transformación del paisaje es básico identificar e indi-

vidualizar cada uno de los usos y las cubiertas del suelo para mapear la organización espacial de cada periodo temporal. Es importante destacar que la elección de la tipología clasificatoria, por un lado, está supeditada a las fuentes de información de que se dispone, a la escala de estos materiales y al objetivo del estudio y, por otro, condiciona los resultados cartográficos y, consecuentemente, la disposición y extensión de cada uno de los elementos del mosaico paisajístico.

Para la cartografía de los usos y las cubiertas del suelo del área de estudio se ha adoptado la tipología establecida por el grupo de investigación Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje (UdG) en trabajos anteriores (Martí, 2001; Serra, 2001; Pintó y otros, 2002a y 2002b), así como otros investigadores (Panareda, 1984; Panareda y otros, 2003; Salvà y otros, 2003). Dicha tipología establece unas categorías organizadas jerárquicamente siguiendo criterios de clasificación fisionómica.

La leyenda de los mapas se organiza en niveles que se subdividen según las necesidades del análisis y la disponibilidad de las fuentes para conseguir el grado de precisión adecuado en la determinación de los diferentes usos y cubiertas del suelo. En el primer nivel se diferencian los grandes tipos de cubiertas del suelo y comprende tres grandes categorías que se ordenan en un grado creciente de modificación o transformación del paisaje:

- I. Espacio con vegetación espontánea.
- II. Espacio agrícola.
- III. Espacio artificializado.
- IV. Formas de relieve litoral.

El segundo nivel (10 categorías) está explícito en la leyenda y corresponde a los grandes tipos fisionómicos que se pueden distinguir dentro de cada una de las categorías anteriores.

Así, en el espacio con vegetación espontánea se distingue entre los grandes tipos de vegetación desde el punto de vista de su fisonomía: bosques; maquias y matorrales; herbazales y prados. En el espacio agrícola se separan los cultivos arbóreos de los arbustivos y los herbáceos. En la categoría de espacio artificializado se diferencian núcleos compactos, urbanizaciones, grandes espacios artificializados, edificaciones aisladas y espacios denudados para entrar después en un tercer nivel, donde se discrimina entre urbanización densa y urbanización dispersa, o entre polígonos industriales, campings o servicios y equipamientos.

En los análisis de tipo más general la leyenda se reorganiza hasta el segundo o el primer nivel, bien para

obtener una visión sintética, bien porque la comparación con la información procedente de las fotografías aéreas de 1956-1957 y 1980 no permite un detalle más elevado. Esta unificación metodológica en cuanto a la tipología de usos y cubiertas debería ser muy útil para, a posteriori, comparar los resultados obtenidos con otros ámbitos territoriales y en otros periodos temporales.

### 3.9. SIG PARA LA CARTOGRAFÍA Y EL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS CAMBIOS

Concluido el proceso de digitalización de las diferentes cubiertas del suelo identificadas sobre las bases cartográficas de diferente escala (y de precisión desigual), y depurada la geometría poligonal introducida y su información alfanumérica asociada, se procede a homogeneizar las categorías de las leyendas para poder comparar la evolución de los usos y las cubiertas del suelo entre los tres periodos analizados. Dado que la cartografía correspondiente a los usos y cubiertas del suelo de 1957 y 1980 individualiza una menor cantidad de clases, se simplifica la estructura jerárquica de los usos y las cubiertas del suelo actuales para equiparar ambas agrupaciones. Asimismo, para ajustar la definición de los datos cartográficos que se compararán, se reduce el grado de detalle de las capas vectoriales digitalizadas a escala 1:5.000 para adecuarlas a la escala 1:30.000, proceso en el que se eliminan los polígonos de superficie ahora despreciable para evitar que en la posterior superposición de mapas provoquen errores de falsos polígonos (*slivers*).

Mapeados los usos y las cubiertas del suelo con la leyenda apropiada, se puede cuantificar automáticamente y de modo inmediato la superficie de cada una de las categorías diferenciadas en cada corte cronológico. El tratamiento cartográfico en SIG facilita el superposición de las diversas secuencias temporales (*clip/merge*), para discernir cuantitativa y espacialmente cuáles han sido los cambios, dónde se han producido, qué magnitud han tomado y qué usos y cubiertas han afectado. Análisis interesantes y que han merecido especial atención han sido, por ejemplo, el incremento de la superficie artificializada para descubrir en detrimento de qué espacios y usos se ha extendido, así como la variación, a priori desconocida, de las áreas forestales y de las zonas de cultivos. En este caso, el procedimiento ha sido individualizar los grandes usos sobre la capa (*shape*) del año 2003 para superponer (*clip*) cada uno de ellos en la capa de información que contiene los usos y las cubiertas del

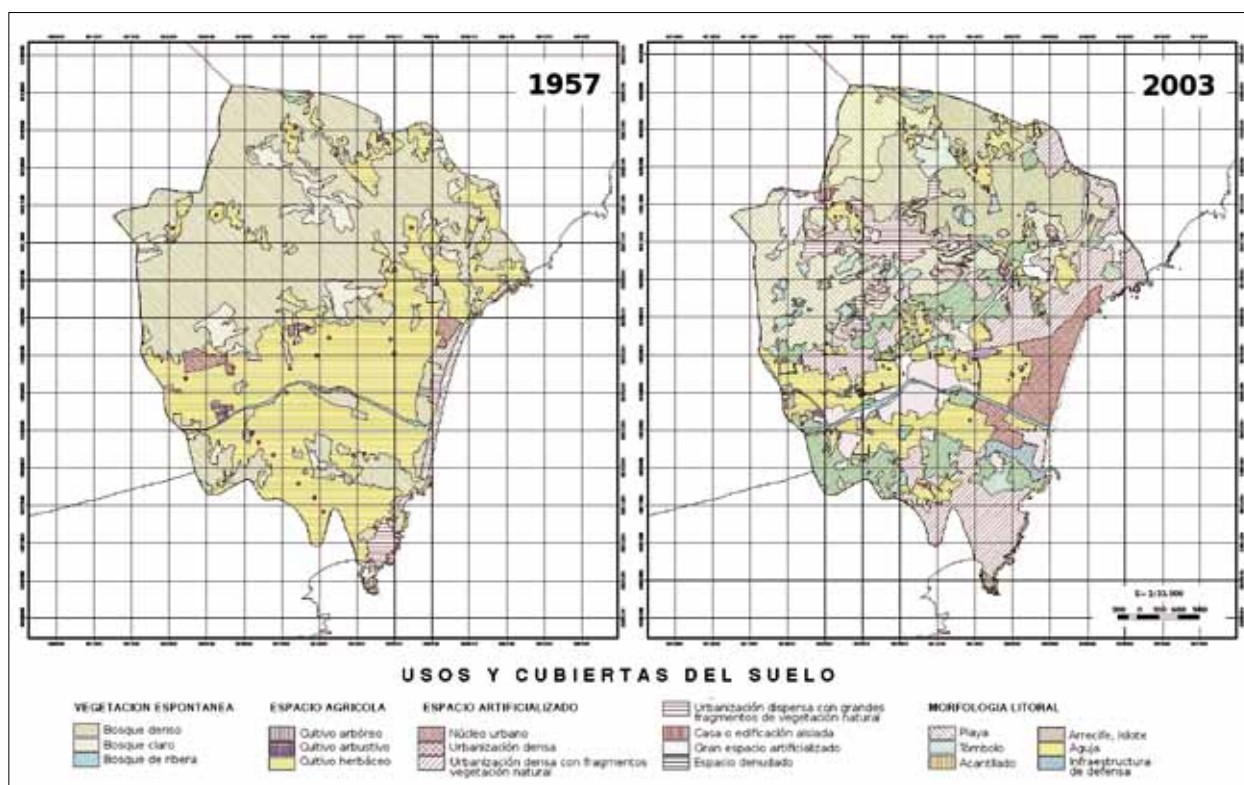


FIG. 4. Comparación de usos y cubiertas del suelo de Castell-Platja d'Aro, 1957-2003.

suelo del periodo anterior. De este modo se obtiene una tabla alfanumérica a partir de la cual se puede mapear qué usos existían en la época pasada bajo el actual uso consultado. Con estos resultados se obtiene la cuantificación numérica y espacial de cuánto y dónde se ha transformado cada uso.

Por otra parte, al partir de la premisa de que los cambios no son espontáneos ni aleatorios sobre el territorio, resulta altamente enriquecedor identificar las pautas o patrones espaciales de la transformación de los usos y las cubiertas del suelo. Por ello, se busca la correlación simple entre variables, para comprobar el grado de ajuste entre, por ejemplo, el espacio donde han proliferado más las urbanizaciones con respecto a la pendiente, la orientación, las cuencas visuales sobre el mar, la geología; o para reconocer qué condiciones ambientales prefieren ciertas comunidades vegetales a partir de la orientación, insolación, litología, presencia/ausencia de cursos fluviales, proximidad/lejanía de vías de comunicación, tipología de especies acompañantes o vecinas, etc. Asimismo, se ha podido contabilizar el porcentaje de franja litoral afectada por la artificialización de los ecosistemas coste-

ros, buscando ahora la correlación entre el espacio urbanizado y la distancia a la estricta línea de costa.

Para resolver estas cuestiones se aplica el coeficiente de correlación de Pearson, donde el grado de asociación lineal entre dos variables oscilará entre -1 y 1, siendo -1 cuando la correlación entre ambas variables es perfecta pero inversamente proporcional, 1 cuando sea directamente proporcional, y con valor 0 o próximo cuando no exista. Los análisis espaciales se han realizado en diferentes niveles, tanto territoriales como escalares. Por un lado, se han buscado las transformaciones paisajísticas de los grandes usos (vegetación espontánea, espacio agrícola, espacio artificializado) a escala regional de toda la Costa Brava. En este sentido, ha resultado básica la incorporación de índices de estabilidad del paisaje: el coeficiente de correlación  $v$  de Cramer muestra el grado de coincidencia entre dos mapas de periodos diferentes y, por lo tanto, la estabilidad o alteración de un mosaico paisajístico. El coeficiente de correlación  $v$  de Cramer (Ott y otros, 1983) tiene como valor mínimo el número 0 cuando no existe correlación entre los dos mapas y 1 cuando entre los dos patrones comparados hay una correlación de patrones exacta.

### 3.10. ESTRUCTURA DEL PAISAJE LITORAL DE LA COSTA BRAVA

El estudio de la estructura del paisaje litoral se puede afrontar desde muy diversas metodologías. En este trabajo se ha adoptado el marco teórico-metodológico que proporciona la ecología del paisaje (Forman y Godron, 1986). A nivel de toda la Costa Brava se busca la evolución de la estructura, la composición y la configuración del mosaico paisajístico a partir de la aplicación e interpretación de los principales índices de ecología del paisaje sobre los grandes usos y cubiertas del suelo, tanto a nivel de paisaje como de teselas.

El análisis del monte también requiere inventariar las especies que se localizan en cada formación, así como definir la densidad, recubrimiento arbóreo y madurez de cada una de las masas forestales localizadas. Se cartografía su localización y sus factores biofísicos condicionantes. A partir de análisis multivariable y multitemporal se presenta una caracterización biofísica de las masas forestales, se define su procedencia y evolución y se apuntan las presiones a las que están sometidas.

En la bibliografía especializada en ecología del paisaje hay cientos de métodos e índices desarrollados para estudiar la configuración y la composición del mosaico paisajístico. La composición del paisaje contempla la presencia y cantidad de cada tipo de categoría o tesela dentro del mosaico paisajístico, sin tener en cuenta su localización espacial. Aparte de analizar la variedad y abundancia de cada clase o elemento del paisaje, es importante conocer su distribución territorial, las relaciones físicas con respecto a los otros elementos del mosaico y el carácter espacial de las teselas, tal como su tamaño y forma, características que definen la configuración espacial del paisaje.

Los índices y medidas cuantitativas calculadas a nivel de paisaje para todo el mosaico paisajístico de la Costa Brava son cinco: la superficie total del área (*total landscape area* [TLA]), el número total de teselas (*number of patches* [NumP], *landscape level*), el índice de diversidad de Shannon (*Shannon's diversity index* [SHDI]), el índice de uniformidad de Shannon (*Shannon's evenness index* [SHEI]) y la dominancia (*dominance*).

#### 3.10.1. Análisis de la estructura del mosaico paisajístico, pasado y actual, mediante índices procedentes de la ecología del paisaje

Estudiar las relaciones entre las consecuencias estructurales y funcionales de la fragmentación del paisaje per-

mite conocer la correlación entre el patrón paisajístico y cada uno de los procesos (Forman y Godron, 1986; Turner y Gardner, 1991). Cuantificar los patrones del paisaje es un requisito previo al estudio de relaciones del patrón-proceso (Baker y Cai, 1992; McGarigal y Marks, 1995; O'Neill y otros, 1988; Turner, 1990; Turner y Gardner, 1991). Dado el elevado número de índices procedentes de la ecología del paisaje y la significación de cada uno, antes de iniciar el cálculo para la posterior interpretación es necesario identificar cuáles son las dudas a resolver. Las hipótesis de las que se parte en el área de estudio de la Costa Brava son

- 1) La fragmentación del paisaje a lo largo del tiempo (1957-1980-2003) ha aumentado.
- 2) La compacidad de cada uno de los usos y cubiertas del suelo se ha reducido mucho, sobre todo en el espacio construido.
- 3) El número de teselas para todo el paisaje se ha incrementado, así como para cada uno de los grandes usos del suelo (vegetación espontánea, agrícola, artificializado), aunque la evolución general de la clase sea de recesión.
- 4) El tamaño medio de las teselas de cada clase ha disminuido, aunque la clase haya seguido una evolución de crecimiento.
- 5) Dado que la compacidad ha disminuido, la distancia entre teselas de la misma clase ha aumentado.
- 6) La composición del patrón paisajístico ha aumentado en diversidad, aunque ésta se debe al alto grado de fragmentación.
- 7) La disposición territorial poco ordenada de usos y cubiertas del suelo genera que los fragmentos del paisaje sean cada vez más pequeños y con formas más irregulares.
- 8) Dada la mezcla de usos y cubiertas del suelo, ha aumentado la vecindad entre los diferentes usos y cubiertas del suelo, especialmente entre vegetación espontánea y espacio artificializado y, en concreto, con el espacio construido.
- 9) El tamaño medio de los cultivos ha aumentado, dado que las superficies más reducidas han sido absorbidas por el bosque o anuladas por el espacio urbanizado. Las parcelas pequeñas no resulta rentable explotarlas y se abandonan, lo cual provoca que el espacio agrícola útil tienda a concentrarse.

#### 3.10.2. Software específico

Los enfoques analíticos sobre el patrón espacial son tres:

- a) a nivel de paisaje (*landscape level*), aplicados a toda el área de estudio y para todo el conjunto de usos y cubiertas del suelo;
- b) a nivel de clase (*class level*), donde los cálculos se aplicarán a cada uno de los usos y las cubiertas del suelo individualmente, aislando cada una de las categorías de la leyenda que interese analizar (para la Costa Brava: 4 o 27), y
- c) a nivel de tesela (*patch*), donde los cálculos se realizan sobre la unidad territorial más pequeña, el polígono.

Consecuentemente, para detectar las dinámicas de cambio de toda la Costa Brava se analizan un total de 21 índices en cada uno de los tres periodos temporales.

Algunos de estos índices se han calculado directamente con el *software* ArcGIS-ArcView a partir del módulo de análisis Patch Analyst (Elkie, Rempel y Carr, 1999) y otras medidas más complejas han requerido *software* complementarios especializados como Fragstats y Fragstats ARC (McGarigal y Marks, 1995), y vLATE (Lang y Tiede, 2003). Los resultados se representan a través de tablas y mapas temáticos. Para aglutinar el compendio de información estadística resultante se ha utilizado el *software* estadístico Statística y SPSS. Patch Analyst es un programa que ha sido desarrollado como herramienta para cuantificar la estructura espacial de un paisaje mediante el *software* base ArcGis-Arcview 8.2. Fragstats, a partir de entradas vectoriales y *raster*, calcula índices de área, forma, área núcleo, vecino más cercano, número de teselas, distancia de margen, diversidad y contagio, a nivel de tesela, clase y paisaje. vLATE (*vector-based Landscape Analysis Tools Extension*) funciona como un *plug-in* o extensión para el entorno ArcGIS 8.X y reconoce exclusivamente ficheros vectoriales. Proporciona un conjunto similar de índices relacionados con el análisis del modelo estructural: área, forma, núcleo interior, contorno, proximidad, diversidad y análisis de la subdivisión. Estos grupos de medidas describen la configuración y composición general del patrón del paisaje, y cubren los aspectos principales de valoración de la estructura.

### 3.10.3. Índices y medidas de cuantificación del mosaico paisajístico según la escala espacial de análisis

A nivel regional de toda la Costa Brava y para los tres periodos temporales de estudio (1957, 1980, 2003) se hacen tres tipos de análisis de la estructura del paisaje: a nivel de paisaje; a nivel de grandes usos con la leyenda

totalmente compactada (cuatro clases), y a nivel de clase, con todas las categorías de usos y cubiertas del suelo desglosadas (27 clases).

En el primer caso se simplifica la leyenda jerárquica hasta el primer nivel. Para arreglar los errores que se producen en la cartografía al realizar este cambio, deben eliminarse los contornos entre polígonos colindantes de la misma clase. Una vez suprimidas las fronteras sobrantes, se disgregan los usos, ya que todas las teselas han quedado agrupadas por el identificador en cuatro grandes polígonos. Los identificadores de elementos geométricos que en la leyenda jerárquica desglosada corresponden a tipos de clase diferentes (por ejemplo, casco urbano y polígono industrial) deben unificarse en un solo uso que corresponda a la tipología «madre» que los enmarca: espacio artificializado.

Los índices y medidas cuantitativas calculadas a nivel de paisaje para toda la región se basan en un primer análisis de la configuración y diversidad de la Costa Brava a partir de los cinco índices siguientes:

- 1) La superficie total del área, a partir de la suma de todas las teselas del paisaje (*landscape area* [TLA]).
- 2) El número total de teselas del mosaico paisajístico (*number of patches* [NumP], *landscape level*).
- 3) El índice de diversidad de Shannon (*Shannon's diversity index* [SHDI]) calcula la composición del paisaje (sólo apto a nivel de paisaje) a partir del número de cada tesela o clase, y su abundancia proporcional y distribución sobre el mosaico paisajístico. Cuando no hay diversidad (una única tesela), el resultado es 0, mientras que el SHDI incrementa a medida que aumenta el número de diferentes tipos de clases o teselas, o bien a medida que la distribución de las áreas de tipo de teselas diferentes se van equiparando.
- 4) El índice de uniformidad de Shannon (*Shannon's evenness index* [SHEI, vL]) mide la distribución y abundancia de las teselas a nivel de paisaje. Para complementar el índice de diversidad de Shannon, el SHEI indica con resultado 1 si la distribución y la abundancia son uniformes, mientras es 0 si no hay regularidad espacial.
- 5) La dominancia (*dominance* [VL]) muestra si en la configuración del paisaje hay algún uso o cubierta del suelo cuya extensión predomine sobre el resto de clases. El resultado de la dominancia es 0 cuando no existe ninguna hegemonía, mien-

tras que se aproxima a 1 si alguna clase se impone sobre el resto.

De los cuatro grandes usos y cubiertas del suelo a nivel de toda la Costa Brava (vegetación espontánea, agrícola, artificializado y morfología litoral) se calculan con el *software* Patch Analyst (PchA), vLATE (vL) o Fragstat (Fgt) los siguientes índices:

- 6) El área de cada uso (*class area* [CA]).
- 7) El número de teselas de cada clase (*number of patches* [NumP], *patch level*).
- 8) La proporción (*proportion* [vL]): el porcentaje de cada uso respecto al total del área de estudio.
- 9) El tamaño medio de las teselas (*mean patch size* [MPS]) para cada una de las cuatro clases, variable que, para saber si el resultado es significativo, debe ir acompañada del cálculo de su desviación estándar (*patch size standard-deviation* [PSSD]).
- 10) Igualmente, se calcula la MPS y la PSSD a nivel de paisaje, donde se calcula el tamaño medio de las teselas o polígonos de todo el paisaje, sin distinguir a qué clase corresponden, aunque este resultado para toda el área de estudio, al mezclar usos del suelo de tipologías muy diversas, no será un indicador válido.
- 11) El coeficiente de variación (PSCOV), el cual pone en relación la desviación estándar de cada tesela (PSSD) con el tamaño medio resultante (MPS). Este coeficiente resulta de gran valor, ya que, si es cercano a 1, significa que los valores de los *patches* son muy similares, mientras que si el coeficiente resultante es muy lejano a 1, significa que los valores de los *patches* son muy dispares.
- 12) El perímetro de todas las teselas (*total edge* [TE]) para las cuatro clases y para todo el paisaje, donde se suma el total de perímetro de todos los *patches*.
- 13) La densidad de perímetro (*edge density* [ED]), la cual pone en relación la cantidad de perímetro con el área a partir de dividir el perímetro (TE) entre el área total (TLA).

La complejidad de la forma a partir de los índices:

- 14) Índice de forma (*shape index* [SHAPE, a vL]).
- 15) Media del índice de forma ponderada en función del área (*area-weighted mean shape index* [AWMSI]), la cual calcula la media del índice (sumatorio, para todas las teselas, del períme-

tro dividido por la raíz cuadrada del área, y dividido por el número total de teselas) de forma ponderada según el área de las teselas. Con esta ponderación se consigue que los fragmentos más grandes pesen más que los fragmentos muy pequeños, ya que éstos toman, proporcionalmente, un peso excesivo. El AWMSI es igual a 1 si todos los polígonos son perfectamente redondos, y este número se incrementa a medida que aumenta la irregularidad en la forma de las teselas.

- 16) Para medir la complejidad de la forma también se calcula la media de la dimensión fractal de la tesela (*mean patch fractal dimension* [MPFD a PchA y MFRAC a vL]). El resultado de la cual se acerca a 1 si los perímetros tienen formas simples, y a 2 cuanto más complejos son.
- 17) Como con anterioridad, se calcula la media de la dimensión fractal de la tesela ponderada en función del área (*area weighted mean patch fractal dimension* [AWMPFD]) para disminuir el peso de los fragmentos muy pequeños. Al igual que en el MPFD, cuando las formas del contorno de las teselas son muy sencillas, el resultado del índice se acerca a 1, y cuando son altamente irregulares y/o meandrantes, el valor es cercano a 2.

El análisis de vecindad a partir de dos índices:

- 18) Distancia media del vecino más cercano (*mean nearest-neighbor distance* [MNN a PchA y NN-Dist a vL]). Mide el aislamiento de la tesela a partir de sumar las distancias de lado a lado de todos los polígonos con vecino, dividido entre el número de teselas con vecino.
- 19) Contagio o medida de las adyacencias (*interspersión juxtaposition* [PchA] y CONTAG [Fgt]) a nivel de tesela. Es próximo a 0 cuando la distribución de las adyacencias se vuelve desigual y es cercano a 100 cuando las adyacencias son proporcionales o cuando todos los usos son igualmente colindantes. *Interspersión* requiere que el análisis a nivel de paisaje esté constituido por un mínimo de tres clases. A nivel de clase, la *interspersión* es una medida de dispersión relativa de cada clase, mientras que a nivel de paisaje es una medida de la *interspersión* de cada tesela en el paisaje. *Interspersión* es una medida de relación de la distribución de las teselas y la abundancia proporcional de cada *patch* dentro del mosaico paisajístico. Es una medida similar a la dispersión, donde

CUADRO 1. Principales índices de ecología del paisaje calculados para toda la Costa Brava

Año	Área		Número de teselas (tes)		Tamaño medio		Perímetro total tes		Densidad del perímetro		Índice de forma		Índice de forma pond sg área		Dim fractal		Dim fractal pond sg área		
	Ha.	% variación	NUMP	% variación	mrs en ha	% variación	TE en km	% variación	ED en m/ha	% variación	MSI	% variación	AMMSI	% variación	MFPD	% variación	AMMFPD	% variación	
Veg. espont.	1957	42564,82		359	118,56		2030,48		30,699		2,265		7,207		1,416		1,361		
	1980	42543,61	<b>-0,05</b>	480	<b>33,70</b>	88,63	<b>-25,25</b>	2276,90	<b>12,14</b>	34,397	<b>12,04</b>	2,193	<b>-3,20</b>	6,375	<b>-11,55</b>	1,407	<b>-0,62</b>	1,356	<b>-0,31</b>
	2003	41923,82	<b>-1,46</b>	599	<b>24,79</b>	69,99	<b>-21,03</b>	2494,71	<b>9,57</b>	37,667	<b>9,51</b>	2,145	<b>-2,16</b>	6,067	<b>-4,84</b>	1,423	<b>1,18</b>	1,356	<b>-0,02</b>
			<b>-1,51</b>		<b>66,85</b>		<b>-40,97</b>		<b>22,86</b>		<b>22,70</b>		<b>-5,29</b>		<b>-15,83</b>		<b>0,55</b>		<b>-0,32</b>
Espacio agrícola	1957	21288,78		866	24,58		1885,83		28,513		1,741		3,620		1,378		1,326		
	1980	17350,58	<b>-18,50</b>	950	<b>9,70</b>	18,26	<b>-25,71</b>	1838,27	<b>-2,52</b>	27,770	<b>-2,60</b>	1,724	<b>-0,98</b>	4,184	<b>15,58</b>	1,387	<b>0,69</b>	1,341	<b>1,15</b>
	2003	14444,42	<b>-16,75</b>	1003	<b>5,58</b>	14,40	<b>-21,15</b>	1674,02	<b>-8,93</b>	25,276	<b>-8,98</b>	1,730	<b>0,36</b>	3,281	<b>-21,59</b>	1,383	<b>-0,32</b>	1,331	<b>-0,81</b>
			<b>-32,15</b>		<b>15,82</b>		<b>-41,42</b>		<b>-11,23</b>		<b>-11,35</b>		<b>-0,63</b>		<b>-9,37</b>		<b>0,37</b>		<b>0,34</b>
Espacio artific.	1957	1149,94		995	1,16		659,34		9,969		1,412		14,787		1,485		1,515		
	1980	5257,24	<b>357,18</b>	2567	<b>157,99</b>	2,05	<b>77,21</b>	1355,41	<b>105,57</b>	20,476	<b>105,40</b>	1,360	<b>-3,71</b>	11,772	<b>-20,39</b>	1,487	<b>0,09</b>	1,451	<b>-4,23</b>
	2003	8815,85	<b>67,69</b>	2592	<b>0,97</b>	3,40	<b>66,07</b>	1759,55	<b>29,82</b>	26,567	<b>29,75</b>	1,381	<b>1,58</b>	14,150	<b>20,21</b>	1,493	<b>0,42</b>	1,457	<b>0,48</b>
			<b>666,64</b>		<b>160,50</b>		<b>194,29</b>		<b>166,87</b>		<b>166,51</b>		<b>-2,19</b>		<b>-4,31</b>		<b>0,50</b>		<b>-3,77</b>
Morf. lit & láminas agua	1957	1134,32		469	2,42		597,19		9,029		2,242		8,057		1,583		1,503		
	1980	1044,05	<b>-7,96</b>	585	<b>24,73</b>	1,78	<b>-26,21</b>	589,09	<b>-1,36</b>	8,899	<b>-1,44</b>	2,082	<b>-7,11</b>	7,333	<b>-8,98</b>	1,587	<b>0,24</b>	1,502	<b>-0,11</b>
	2003	1045,76	<b>0,16</b>	612	<b>4,62</b>	1,71	<b>-4,26</b>	602,55	<b>2,28</b>	9,098	<b>2,23</b>	2,079	<b>-0,16</b>	6,672	<b>-9,02</b>	1,573	<b>-0,84</b>	1,496	<b>-0,39</b>
			<b>-7,81</b>		<b>30,49</b>		<b>-29,35</b>		<b>0,90</b>		<b>0,76</b>		<b>-7,26</b>		<b>-17,19</b>		<b>-0,60</b>		<b>-0,50</b>

puede haber mucha o poca dispersión, donde la interspersión puede ser concentrada o equitativamente dispersa por el patrón paisajístico.

### 3.11. PROGNOSIS A TRAVÉS DE MODELIZACIÓN

#### 3.11.1. Tipos de modelos y escala espacial

La modelización, fruto de los diferentes resultados obtenidos en cada una de las escalas estudiadas (regional *versus* local), tiene un doble enfoque:

a) La primera tipología son modelos empíricos que sirven para validar los modelos de diagnóstico,

los cuales tienen una muy limitada capacidad predictiva a pesar de mostrar cuáles son las tendencias. En esta investigación, éstos serán aplicados en el área de estudio de la Costa Brava centro y servirán para esquematizar conceptualmente las pautas de desarrollo territorial que se desprenden de los estudios de evolución y diagnóstico actual.

b) Los demás se elaboran a partir de modelos matemáticos de simulación, los cuales recogen las variables condicionantes detectadas y proyectan sobre el territorio las tendencias manifestadas cuantitativamente. Estos modelos tratarán la totalidad del territorio estudiado, el ámbito de la Costa Brava.





FIG. 5. Modelo espacial de la transformación del paisaje de Castell-Platja d'Aro, 1957-2003.

### 3.11.2. Escala temporal

El desarrollo de modelos para conseguir suposiciones lógicas sobre los niveles futuros de cambios en la utilización de la superficie terrestre requiere partir de una matriz de cambios, de unas tendencias ocurridas que se consideren válidas como referencia de cambio futuro. Elegir correctamente el periodo temporal de referencia y las variables condicionantes se convertirá en la clave de resultados útiles o ineficaces.

El diferente dinamismo de los múltiples procesos de transformación detectados en cada área estudiada obliga a acotar el rango temporal de selección de datos, tanto pasado como futuro. Dadas las situaciones de partida en cada una de las dos etapas estudiadas (1957-1980 y 1980-2003) y las variaciones territoriales acaecidas en cada periodo, se considera apropiado contemplar sólo los últimos resultados. Los primeros desarrollos urbanísticos y socio-económicos de la Costa Brava en la década de 1950, al partir de una tablar rasa, ofrecen tasas de crecimiento urbanístico, tipologías constructivas, patrones de localización y actividades socio-económicas diferentes a las detectadas en el periodo posterior. Estas últimas, al partir de un territorio bastante modificado por la presión turística y urbanística durante veinticinco años, muestran ritmos de variación más pausados. Por ello, sólo se consideran aptas las tendencias de la última etapa (1980-2003).

### 3.11.3. Variables condicionantes

Para detectar los modelos de comportamiento y proyectar las dinámicas de cambio del mosaico paisajístico a medio plazo (veinticinco y cincuenta años), hay que analizar estadísticamente el resultado de las combinaciones entre varias capas de información espacial. Se analizaron las siguientes:

- 1) la correlación entre los principales factores físicos como condicionantes de la distribución de los

principales usos del suelo: altitud, pendiente y orientación;

- 2) la tendencia evolutiva y el patrón espacial de cada uno de los principales usos y cubiertas del suelo del territorio: vegetación espontánea, espacio agrícola y espacio artificializado;
- 3) y las tendencias generales de cambio de la cubierta del suelo responsable de la mayor transformación territorial: el espacio artificializado, cuya ubicación agrega otros factores condicionantes, como distancia a la línea de costa, a las vías de comunicación, a núcleos urbanizados existentes, etc.

### 3.12. TENDENCIAS DE CAMBIO Y MODELIZACIÓN

#### PROSPECTIVA: CADENAS DE MARKOV

La aplicación más usual del modelo de cadenas de Markov es a partir del módulo Markov del programa Idrisi 32 Release 2. Éste simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo  $t_1$  a partir de dos estados precedentes  $t_0$  y  $t-1$ . Como resultado se obtiene una matriz (P) de probabilidades de transición entre todas las categorías de usos y cubiertas del suelo ( $p_{ij}$ ), y una matriz de áreas de transición donde se indica el número de celdas susceptibles a cambiar en cada categoría (Paegelow y otros, 2002).

Sin embargo, este módulo sólo se ha utilizado para conseguir la mapificación de los resultados, pues para obtener una mayor exactitud cuantitativa se ha considerado óptimo elaborar todo el procedimiento estadístico de las cadenas de Markov mediante la introducción de los valores procedentes de los mapas vectoriales en una hoja de cálculo. De esta manera se elimina el error cuantitativo y cualitativo que aporta la conversión de las primitivas gráficas vectoriales a celdas de una malla *raster*.

Para construir las matrices de transición de los cambios de usos y las cubiertas del suelo se ha creado una tabla de doble entrada para cada uno de los periodos tem-

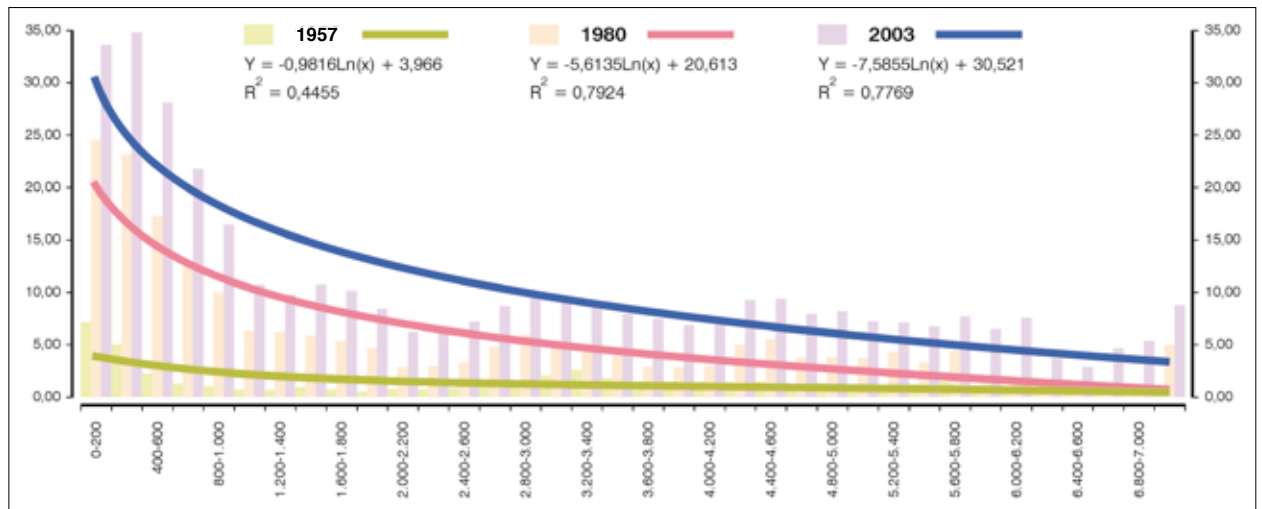


FIG. 6. Evolución de la superficie ocupada por el espacio urbanizado según la distancia a la línea costera, 1957, 1980, 2003.

porales ( $t-1$  y  $t_0$ ) en la que se relacionan los datos cuantitativos de superficie en hectáreas.

A partir de los valores de esta tabla se elabora la matriz de probabilidades de transición, la cual debe ser una matriz estocástica regular, donde ninguna entrada puede ser negativa y la suma de cada una de las filas debe ser 1. La ecuación en la que se traduce el análisis de las cadenas de Markov, basada en que la situación futura depende del estado inicial y de las probabilidades de cambio, es  $V_n = V_0 \cdot P^n$ , donde:  $V_0$  es el vector de estado inicial formado por la distribución inicial en probabilidades de cada uno de los  $n$  elementos;  $P$  es la matriz de transición de  $n$  columnas por  $n$  filas, integrada por las probabilidades de cambio;  $n$  es el número de unidades temporales (años en el caso de estudio) que definen las iteraciones de la simulación. El intervalo entre periodos resulta de la diferencia de tiempo seleccionada para elaborar la matriz de transición entre  $t-1$  y  $t_0$ .  $V_n$  es el vector de estado en el periodo  $n$  e indica la distribución de probabilidades de cada uno de  $n$  elementos. El producto entre el vector  $V_0$  y la matriz  $P$  elevada a la  $n$ ésima potencia tiene como resultado otro vector ( $V_n$ ) el cual muestra la distribución en el periodo  $n$  en probabilidades de cada uno de los  $n$  elementos en una evolución lineal.

$$V_1 = V_0 \cdot P$$

$$V_2 = V_1 \cdot P = V_0 \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P^2$$

$$V_3 = V_2 \cdot P = V_1 \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P \cdot P \cdot P = V_0 \cdot P^3$$

...

La ejecución del análisis de las cadenas de Markov en Idrisi se realiza a partir de la cartografía de usos y cu-

biertas del suelo de una misma área, exclusivamente, entre dos cortes cronológicos. Al haberse de construir una matriz estocástica regular para mostrar la probabilidad de cambio, es necesario que las dos secuencias temporales contengan exactamente las mismas categorías.

#### 3.14. MODELIZACIÓN DE LOS CAMBIOS ORIENTADA A LA PREDICCIÓN DE LA DINÁMICA DEL PAISAJE

A partir de la información gráfica y numérica conseguida con el módulo de Markov, Idrisi dispone de una aplicación de proyección estocástica llamada ST\_Choice que evalúa la probabilidad de cada celda de convertirse en uno u otro uso. Su ejecución genera mapas de probabilidad o de proyección estocástica, y por tanto se mapifica, de modo aleatorio, la probabilidad de variación de cada uno de los usos y cubiertas del suelo. Esta representación territorial, sin embargo, no responde a ningún patrón real de variación espacial. No se consideran los factores condicionantes que dirigen o limitan la localización geográfica de las transformaciones. Para resolver esta carencia, se recurre a las funciones de análisis espacial destinadas a la modelización: los automatismos celulares (*celular automata*). En el caso del *software* Idrisi esta aplicación se ejecuta a partir de la aplicación CA\_Markov.

Los automatismos celulares incorporan el impacto de la «rugosidad» geográfica, la cual está formada por el conjunto de variables conocidas, disponibles y cartografiadas a una escala compatible con la serie cronológica de los mapas de usos y cubiertas del suelo. Esta

CUADRO 2. Tabla cruzada de usos y cubiertas del suelo entre los periodos t-1 y t0

		Usos y cubiertas del suelo del periodo t0						
		1	2	3	4	5	6	7
UCS del periodo t-1	1	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	x <sub>14</sub>	x <sub>15</sub>	x <sub>16</sub>	x <sub>17</sub>
	2	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	x <sub>23</sub>	x <sub>24</sub>	x <sub>25</sub>	x <sub>26</sub>	x <sub>27</sub>
	3	x <sub>31</sub>	x <sub>32</sub>	x <sub>33</sub>	x <sub>34</sub>	x <sub>35</sub>	x <sub>36</sub>	x <sub>37</sub>
	4	x <sub>41</sub>	x <sub>42</sub>	x <sub>43</sub>	x <sub>44</sub>	x <sub>45</sub>	x <sub>46</sub>	x <sub>47</sub>
	5	x <sub>51</sub>	x <sub>52</sub>	x <sub>53</sub>	x <sub>54</sub>	x <sub>55</sub>	x <sub>56</sub>	x <sub>57</sub>
	6	x <sub>61</sub>	x <sub>62</sub>	x <sub>63</sub>	x <sub>64</sub>	x <sub>65</sub>	x <sub>66</sub>	x <sub>67</sub>
	7	x <sub>71</sub>	x <sub>72</sub>	x <sub>73</sub>	x <sub>74</sub>	x <sub>75</sub>	x <sub>76</sub>	x <sub>77</sub>
	8	x <sub>81</sub>	x <sub>82</sub>	x <sub>83</sub>	x <sub>84</sub>	x <sub>85</sub>	x <sub>86</sub>	x <sub>87</sub>

CUADRO 3. Vector de estado n (Vn) como producto del vector de estado inicial (V0) y la matriz de transición P entre los periodos t-1 y t0 elevada a la enésima potencia

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} \begin{bmatrix} V_{n1} \\ V_{n2} \\ V_{n3} \\ V_{n4} \\ V_{n5} \\ V_{n6} \\ V_{n7} \\ V_{n8} \end{bmatrix} = \begin{matrix} \\ \\ \\ * \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} V_{0,1} \\ V_{0,2} \\ V_{0,3} \\ V_{0,4} \\ V_{0,5} \\ V_{0,6} \\ V_{0,7} \\ V_{0,8} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Per} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} & P_{18} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} & P_{27} & P_{28} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} & P_{37} & P_{38} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} & P_{47} & P_{48} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} & P_{57} & P_{58} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & P_{66} & P_{67} & P_{68} \\ P_{71} & P_{72} & P_{73} & P_{74} & P_{75} & P_{76} & P_{77} & P_{78} \\ P_{81} & P_{82} & P_{83} & P_{84} & P_{85} & P_{86} & P_{87} & P_{88} \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

función tiene la virtud de integrar la modelización temporal, resultado del análisis cronológico de variación de usos y cubiertas del suelo, la evaluación multicriterio y multiobjetivo, donde se relacionan los usos y las cubiertas del suelo y el conjunto de variables que pueden describir o condicionar su dinámica evolutiva (Paegelow y otros, 2002).

#### 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La cotidianidad del espacio donde vivimos, la costumbre de observar y percibir nuestro entorno, la asunción y adaptación que desarrollamos ante los cambios, junto a la progresividad de las variaciones que se producen sobre el territorio, usualmente lejos de alteraciones bruscas e inmediatas, dificultan discernir las múltiples sustituciones, surgimientos, expansiones, desmembración o aniquilamientos de especies, hábitats, ecosistemas o paisajes que ocurren continuamente en el espacio en el que vivimos. Esta falta de memoria histórico-territorial hace no sólo conveniente sino necesario el análisis de la transformación del territorio para detectar los cambios o las alteraciones sufridas en un espacio concreto a lo largo de un periodo temporal determinado.

La antropización de los entornos naturales, a diferentes ritmos de intensidad, desde los mismos inicios de la especie humana, ha tenido y tiene, tal y como presentan Turner (1990) o Ludevid (1995), efectos a nivel local, los cuales, agregadamente, generan sinergias con repercusiones a escala global. Así, los diferentes modos de explotación de la tierra, los cambios en la estructura agraria, la deforestación, la continua expansión del espacio urbani-

zado, los cambiantes sistemas productivos e industriales tienen consecuencias sobre problemáticas tan diversas como la erosión, la contaminación, la desertización, la disposición de agua, la pérdida de biodiversidad, el cambio climático. Por lo tanto, los paisajes, a pesar de estar sustentados por geomorfologías concretas, están modelados, en gran medida, por la historia de cada sociedad, por la ocupación y organización territorial y por la evolución técnica y tecnológica desarrolladas. La diferente localización geográfica y la diferente utilización del territorio generan dinámicas evolutivas divergentes, de donde derivan patrones paisajísticos varios (Pintó, 2005). Conocer las características actuales y las condiciones de partida es necesario para poder intuir la posible evolución futura de un paisaje.

De la asunción de los principios teóricos presentados y de la aplicación de la metodología expuesta, para lograr analizar en detalle el estado, la evolución y el devenir del paisaje litoral de la Costa Brava se ha realizado:

- a) Una cartografía de los usos y cubiertas del suelo en tres cortes cronológicos, 1957, 1980 y 2003, a escala intermedia (1:30.000);
- b) un análisis de la evolución de la transformación del paisaje en los últimos cincuenta años, del ámbito territorial de los municipios litorales de la costa gerundense, la cual parte de un estudio introductorio para contextualizar el marco geográfico y las condiciones sociales y económicas en las que se encuentra inserta la Costa Brava, para luego pasar estrictamente al análisis e interpretación de la evolución de los usos y cubiertas del suelo;

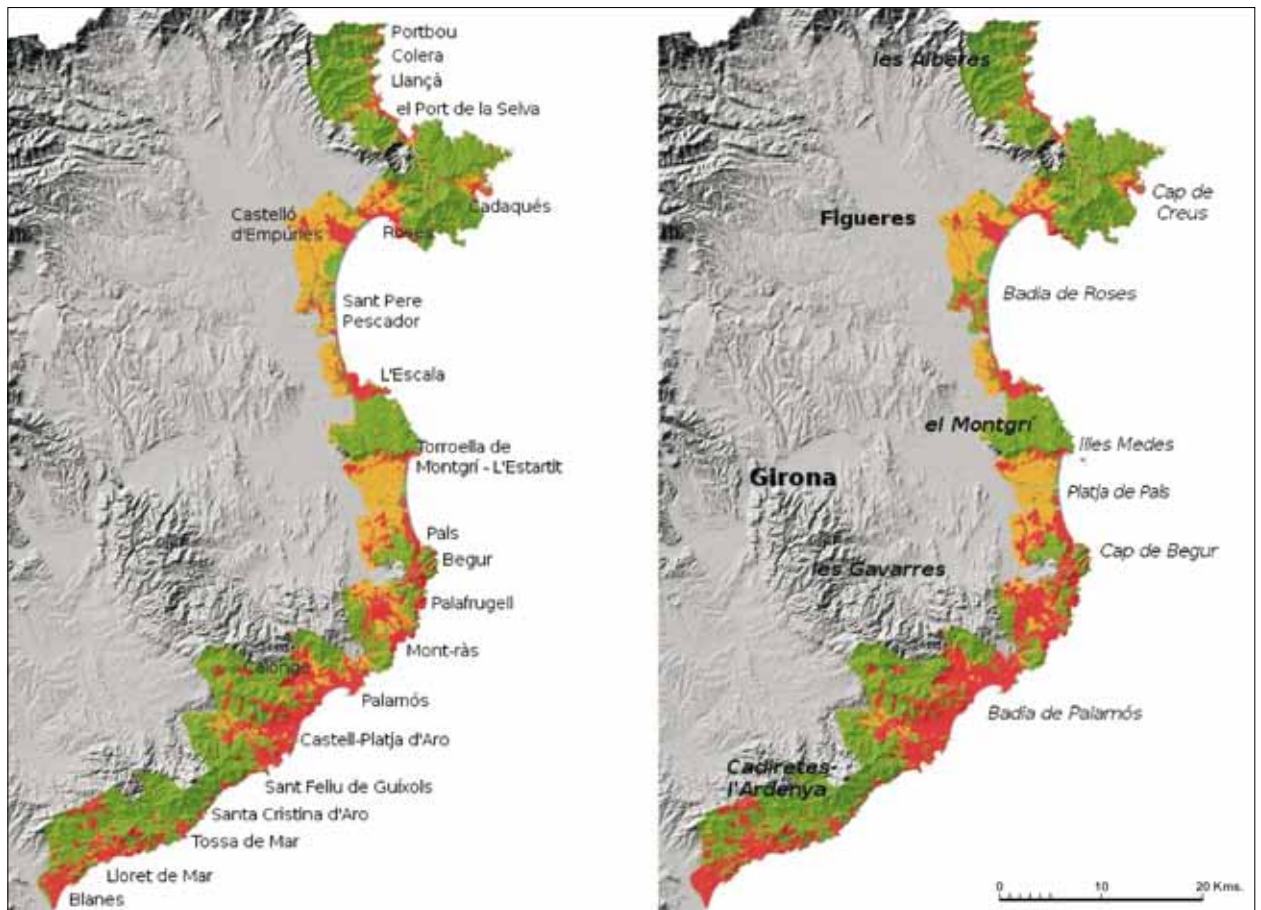


FIG. 7. Simulación de los futuros cambios en los principales usos y cubiertas del suelo, 2025-2050.

- c) una diagnosis de la estructura del mosaico paisajístico: c.1) la primera por todo el ámbito de la Costa Brava, tanto a nivel de paisaje como de grandes usos del suelo, y por cada uno de los cortes temporales (1957, 1980, 2003) a partir de los índices de ecología del paisaje más relevantes;
- d) una prognosis de la evolución posible del paisaje costero de la Costa Brava en los próximos veinticinco y cincuenta años: d.1) En la primera se parte de las tendencias detectadas, tanto de variación cuantitativa como de localización geográfica en los últimos veinticinco años por el total de los municipios litoral de la Costa Brava.

En conjunto, el resultado de este estudio de análisis de la transformación del paisaje ha proporcionado un proceso metodológico y unos resultados válidos para la comprensión de la estructura y dinámica de cambios del paisaje e imprescindibles para la gestión del territorio.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto *Metodologías y conocimientos para validar un nuevo modelo integral de gestión de playas como objetivo de la GIZC* (ref. núm. CSO2009-14589-C04-02), que ha recibido una ayuda del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, M. F., D. L. URBAN y M. ABLAN (1995): «Transition and gap models of forest dynamics». *Ecol. Appl.*, 5. (4), pp. 1.040-1.055.
- ANDERSON, J. R., E. E. HARFY, J. T. ROACH y R. E. WITMER (1976): *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Geological Survey Professional Paper 964, United States Government Printing Office, Washington.

- BAKER, W. L., e Y. CAI (1992): «The rule programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system». *Landscape Ecology*, 7, pp. 291-302.
- BOLÒS, M. de. (ed.) (1992): *Manual de ciencia del paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*. Masson, Barcelona.
- BUREL, F., y J. BAUDRY (2002): *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Mundi Prensa, Madrid.
- CHILDRESS, W. M., C. M. CRISAFULLI y E. J. RYKIEL (1998): «Comparison of Markovian matrix models of a primary successional plant community». *Ecol. Model.*, 107 (1), pp. 93-102.
- ELKIE, P. C., R. S. REMPEL y A. P. CARR (1999): *Patch Analyst User's Manual: A Tool for Quantifying Landscape Structure*. Ontario Ministry of Natural Resource Northwest Science and Technology. Technical Manual, 22 pp. Thunder Bay, Ontario.
- FORMAN, R. T. T., y M. GODRON (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- GIBSON, C. C., E. OSTROM y T. K. ANH (2000): «The concept of scale and the human dimension of global change: a survey». *Ecological Economics*, 32, pp. 217-239.
- LAMBIN, E., G. FISCHER, J. JÄGER y X. BAULIES (1998): *Electronic Conference on Land Use and Land Cover Change in Europe*.
- LANG, S., y D. TIEDE (2003): «vLATE Extension für ArcGIS – vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse». *Proceedings ESRI User Conference 2003*, Innsbruck.
- LI, B. L. (1995): «Stability analysis of a nonhomogeneous Markovian landscape model». *Ecol. Model.*, 82 (3), pp. 247-256.
- LUCC (1995): *Science/Research Plan*. IGBP Report núm. 35/HDP Report núm. 7, IGBP y HDP, Estocolmo.
- LUDEVID, M. (1995): *El canvi global en el medi ambient: introducció a les seves causes humanes*. Proa, Barcelona.
- MARTÍ, C. (2001): *La transformació del paisatge litoral del centre de la Costa Brava en els darrers 50 anys. Palamós, Calonge i Castell-Platja d'Aro* (treball de recerca per al DEA). Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona. Inédito.
- MATA, R., y C. SANZ (dirs.) (2003): *Atlas de los paisajes de España*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- MCGARIGAL, K., y B. MARKS (1995): *Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Ge. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland (EE. UU.).
- O'NEILL, R. V., y otros (1988): «Indices of landscape pattern». *Landscape Ecology*, 1, pp. 153-162.
- OTT L., R. F. LARSON y W. MENDELHALL (1983): *Statistics: A Tool for the Social Sciences*. Duxbury Press, Boston.
- PAEGELOW, M., M. T. CAMACHO y J. MENOR (2002): «Modelización prospectiva del paisaje mediante sistemas de información geográfica», en J. L. García, G. Andrés e I. Molina (eds.) (2002): *Actas del X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección* (Valladolid, 17-20 septiembre de 2002). Universidad de Valladolid, Valladolid.
- PANAREDA, J. M. (1984): «La biogeografía y el estudio del paisaje», en *I Coloquio Paisaje y Geosistema*. Monografías de EQUIP, 1, pp. 53-68, Departament de Geografia, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- (2000): «Cartografía y representación fitogeográfica», en G. Meaza (dir. y coord.) (2000): *Metodología y práctica de la biogeografía*. Ed. del Serbal, Barcelona, pp. 273-316 (La Estrella Polar, 22).
- y J. NUET (2002): «Factores actuales de la dinámica de la vegetación de los encinares: el caso de la montaña de Montserrat (Cordillera Prelitoral Catalana)», en J. M. Panareda y J. Pintó (eds.): *Temas en biogeografía*. Aster, Terrassa, pp. 331-340.
- PINTÓ, J. (2005): «El paisatge litoral». *Espais*, 50, pp. 66-77.
- (2010): «Les unitats de paisatge», en J. Pintó (ed.): *Eines i instruments per a les polítiques de paisatge*. Serv. Publ. Universitat de Girona, Girona.
- y C. MARTÍ (2002a): «Análisis de la vegetación de la cuenca de la riera de la Valleta y de su función de conexión biológica entre los espacios protegidos de L'Albera y el Cabo de Creus», en J. M. Panareda y J. Pintó (eds.): *Temas en Biogeografía*. Aster. Terrassa, pp. 483-494.
- y C. MARTÍ (2004a): «Aproximación a la historia reciente del paisaje forestal de la Costa Brava», en J. M. Panareda y otros (eds.): *Estudios en biogeografía 2004*. Aster, Barcelona.
- y C. MARTÍ (2004b): «La transformació de l'espai litoral: canvis socioeconòmics i ambientals», en *La gestió del litoral*. Diputació de Barcelona, Barcelona (Col. Espai Blau).
- C. MARTÍ, I. SERRA y A. CROUS (2002b): «Geografía del paisaje de Pinya de Rosa (Blanes, Costa Brava)», en R. Sardá (dir.) (2002): *Pinya de Rosa (informe científico)*. Inédito. CEAB-CSIC. Blanes, pp. 85-110.

- M. SALVÀ, y J. NUET (2003): *Cartografia de l'ús del sòl i de la vegetació, a escala 1:5.000, del Parc Natural del Montseny: llegenda del mapa*. Diputació de Barcelona, Xarxa de Municipis, Barcelona.
- RIEBSAME, W. E., W. B. MEYER y B. L. TURNER II (1994): «Modelling land use and cover as part of global environmental change». *Climatic Change*, 28, pp. 45-64.
- RIITTERS, K. H., y otros (1995): «A factor analysis of landscape pattern and structure metrics». *Landscape Ecology*, 10 (1), pp. 23-39.
- SALVÀ, M., J. M. PANAREDA, J. NUET y R. del ROSAL (2003): «Cartografía de la cobertura del suelo y de la vegetación a gran escala como documento de base para la gestión de los espacios protegidos», en M. E. Arocena, E. Beltrán y P. Dorta: *La biogeografía: ciencia geográfica y ciencia biológica*. Universidad de La Laguna, La Laguna (Documentos Congresuales).
- SERRA, I. (2001): Els canvis en el delta de la Tordera en els darrers 150 anys. Trabajo de investigación, Programa de Doctorado en Medio Ambiente, inédito. Universitat de Girona.
- TURNER II, B. L., W. C. CLARCK, R. W. KATES, J. F. RICHARDS, J. T. MATHEWS y W. B. MEYER (eds.) (1990): *The Earth as transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over 300 year past*. Cambridge University Press, Cambridge (RU).
- R. H. MOSS y D. L. SKOLE (1993): *Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project*. IGBP Rep. núm. 24 y HDP Report núm. 5, International Geosphere-Biosphere Programme and the Human Dimension of Global Environmental Change Programme, Estocolmo.
- D. SKOLE, S. SANDERSON, G. FISCHER, L. FRESCO y R. LEEMANS (1995): *Land-use and land-cover Change Science/Research Plan*. IGBP Report núm. 35, HDP Report núm. 7, International Geosphere-Biosphere Programme and the Human Dimension of Global Environmental Change Programme, Estocolmo y Ginebra.
- TURNER, M. G. (1989): «Landscape ecology: the effect of pattern on process». *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, pp. 171-197.
- (1990): «Spatial and temporal analysis of landscape patterns». *Landscape Ecology*, 4, pp. 21-30.
- y R. H. GARDNER (eds.) (1991): *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer Verlag, Nueva York.
- VERBURG, P. H., y A. VELDKAMP (2001): «The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping pattern in China». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp. 177-190.
- ZONNEVELD, I. S. (1995): «Land ecology: an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation». *Land Ecology*, SPB Academic Publishing, Amsterdam.