

MARINO PALACIOS MORERA

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TEMPORAL
Y CAMBIO AMBIENTAL: TRANSFORMACIÓN Y DEGRADACIÓN
EN EL VALLE DEL JARAMA (MADRID)

Directora: ANA SABATÉ MARTÍNEZ

TESIS DOCTORAL
Departamento de Geografía Humana
Universidad Complutense de Madrid
Madrid, 1995.

Prólogo	4
---------------	---

PARTE PRIMERA
CAMBIO, TIEMPO Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

1 A MODO DE INTRODUCCIÓN	10
1 <i>A modo de introducción</i>	12
1.1 Reestructuración económica y nuevas tecnologías	12
1.2 Reestructuración económica e ideologías	15
1.3 ... y Geografía	17
1.4 Posiciones y objetivos de este trabajo	20
2 CAMBIO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL	25
2 <i>Cambio y degradación ambiental</i>	27
2.1 Las transformaciones ambientales	27
2.2 Degradación ambiental	30
2.2.1 Clima y ciclo hidrológico	31
2.2.2 Ecosistemas terrestres	32
2.3 Cambio y degradación ambiental en los ecosistemas terrestres: la ocupación del suelo	34
2.4 La escala espacio-temporal en los procesos de cambio	39
2.5 El control de los cambios en la ocupación del suelo	42
3 TIEMPO, ESPACIO Y ESPACIO-TIEMPO	46
3 <i>Tiempo, espacio y espacio-tiempo</i>	48
3.1 Tiempo y geografía	48
3.1.1 Geografía genética y geografía del presente	48
3.1.2 La Geografía del Tiempo	50
3.1.3 Tiempo y ambientalismo	51
3.2 El tiempo y los mapas: construyendo el tiempo cartográfico	53
3.2.1 Espacio, tiempo y espacio-tiempo	54
3.2.2 Tiempo cartográfico	57
3.2.3 Topología temporal	59
3.2.4 Las concepciones del tiempo cartográfico	64
4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TEMPORAL	71
4 <i>Sistemas de información geográfica temporal</i>	73
4.1 Información temporal	73
4.2 La captación de los datos: detección de los cambios mediante teledetección.	78
4.2.1 Interpretación visual	81
4.2.2 Tratamientos digitales	89
4.2.3 Discusión	98
4.3 La organización de la información temporal	102
4.3.1 Entrada de los datos	102
4.3.2 Organización y manipulación de los datos	108
4.4 Cartografía temporal o ¿cómo representar el cambio ambiental?	115
4.4.1 Secuencias	116
4.4.2 Mapas de cambio o composiciones espacio-temporales	117
4.4.3 Animaciones visuales	120
4.4.4 Sistemas multimedia	122

PARTE SEGUNDA
CAMBIO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL VALLE DEL JARAMA

5 EL VALLE DEL JARAMA	126
5 El Valle del Jarama	128
5.1 El Valle del Jarama en su entorno: el sureste madrileño	128
5.2 Aljézares, páramos y vegas: el medio físico	149
5.3 Renovación y degradación ambiental en el valle del Jarama	154
5.3.1 El espacio de la renovación	154
5.3.2 El espacio de la degradación	156
5.3.3 El espacio de la dualidad: renovación y marginación en el valle del Jarama	163
6 EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DEL VALLE DEL JARAMA	171
6 El sistema de información ambiental del Valle del Jarama	173
6.1 De los datos a la información ambiental	177
6.2 Organizando y manipulando el SIG	192
6.2.1 La descripción de las versiones	192
6.2.2 El control de los procesos	193
6.2.3 La evaluación de las políticas territoriales	197
6.2.4 La prospectiva ambiental	198
6.3 Representando y cuantificando el cambio	200
Anexo: coberturas	202
7 LAS VERSIONES EN LA OCUPACIÓN DEL SUELO	227
7 Las versiones en la ocupación del suelo	229
7.1 El Valle del Jarama como un espacio agrario en 1956	231
7.2 Áreas residenciales, industrias y graveras como motores de los cambios en 1983	245
7.3 Parques empresariales, chabolas y "lagunas de ocio" en 1990	261
7.4 Areas residenciales y autovías en 1992	272
7.5 Las versiones en la ocupación del suelo y la competencia entre usos	276
Anexo: mapas de ocupacion del suelo por categorías (1956-1983-1990-1992)	282
Anexo: estadísticas por tipos de ocupación del suelo (1956-1983-1990-1992)	293
8 RECURSOS, AGENTES Y PROCESOS DE CAMBIO AMBIENTAL	298
8 Recursos, agentes y procesos de cambio ambiental	300
8.1 Recursos y conflictos entre recursos	301
8.2 Agentes del cambio ambiental	308
8.2.1 La evolución de la población	308
8.2.2 La gestión del suelo	311
8.2.3 Las infraestructuras de conexión	318
8.2.4 El planeamiento	320
8.3 Procesos de cambio ambiental	323
8.3.1 Procesos ambientales 1956-1983	335
8.3.2 Procesos ambientales 1983-1990	341
8.3.3 Procesos ambientales 1990-1992	345
8.3.2 Procesos ambientales 1956-1992	348
8.4 ¿Por qué cambian los lugares?: la relación entre procesos y agentes	354
8.4.1 Procesos ambientales y recursos	355
8.4.2 Población y procesos ambientales	358
8.4.3 Gestión del suelo y procesos ambientales	359
8.4.4 Infraestructuras de conexión y procesos ambientales	367
8.4.5 Planeamiento y procesos ambientales	376
Anexo: cartografía detallada de procesos ambientales	384

9 DEGRADACIÓN Y RENOVACIÓN AMBIENTAL EN EL VALLE DEL JARAMA	407
9 <i>Degradación y renovación ambiental en el Valle del Jarama</i>	409
9.1 Exacciones de recursos difícilmente renovables	413
9.1.1 Pérdida de suelo fértil en la vega	413
9.1.2 Pérdida de vegetación natural	417
9.1.3 Las graveras	420
9.2 Inserciones en el medio	423
9.2.1 La calidad de las aguas superficiales	425
9.2.2 Escombreras, vertederos y eriales	448
9.2.3 La actividad generada por las graveras	451
9.2.4 La contaminación acústica	454
9.3 Renovación ambiental	456
9.4 Degradación ambiental	469
9.5 Visualizando el futuro	475
<i>A modo de conclusión.</i>	486
<i>Referencias.</i>	500
<i>Índice de figuras.</i>	516

Prólogo

Que la Tierra es un planeta viviente parece demostrárnoslo el hecho de que está en continuo cambio, en una constante transformación que se refleja en el paso del día a la noche, en la alternancia de las estaciones, en los cambios de su aspecto físico o en la sucesión de las eras geológicas. La Humanidad, como parte integrante de este planeta viviente, se ve inmersa en esos cambios y, al mismo tiempo, anima muchos de ellos.

Este trabajo pretende hacer tangibles, mediante técnicas que detecten, cuantifiquen e ilustren, los cambios producidos por la Humanidad en un acotadísimo intervalo espacio-temporal: el valle del Jarama en Madrid desde 1956 a 1992 (o, lo que es lo mismo, 324 km² y 36 años).

Para ello se ha dividido en dos partes: la primera presenta el acercamiento teórico a este tema (los cambios en la superficie terrestre y su estudio mediante teledetección y SIG) y la segunda aplica estas técnicas a un espacio concreto como es el valle del Jarama.

Aunque el tema central sea la descripción, el control, la evaluación y la prospectiva del cambio ambiental, centrado en las transformaciones en la ocupación del suelo de este espacio, antes del llegar a él en el trabajo aparecen una serie de avances teóricos ligados a la cuestión fundamental.

El primero de éstos aparece en el primer capítulo e intenta presentar un breve repaso de las transformaciones de la economía, de la filosofía de la ciencia actual y de las corrientes en geografía para plantear las posiciones y objetivos de este trabajo.

El capítulo 2 define un concepto clave en este estudio como es el de degradación ambiental, asociado a la idea de cambio.

Puesto que el cambio es la forma que tenemos de apreciar la existencia del tiempo, o el paso del mismo, el capítulo 3 está dedicado al tiempo, al espacio-tiempo, y su relación con la geografía.

El último de estos avances teóricos, el capítulo 4, presenta la metodología empleada para el análisis y que se engloba bajo la denominación de sistemas de información geográfica temporal, concepto que afecta a los propios sistemas de información geográfica (SIG), a la teledetección y a nociones sobre el tiempo que se han enmarcado dentro del título tiempo cartográfico.

En la segunda parte de este trabajo analizamos un espacio concreto mediante los objetivos planteados en el Capítulo 1, una metodología (englobada en el nombre de *sistemas de información geográfica temporal*) y unas herramientas concretas, como son los SIG y la teledetección.

En el Capítulo 5, primero de esta segunda parte, presentamos el área objeto de estudio de esta Tesis: el espacio que aglutina a los municipios de San Fernando de Henares, Mejorada del Campo, Velilla de San Antonio, Rivas-Vaciamadrid, Arganda del Rey y San Martín de la Vega, en el sureste del área metropolitana madrileña y con una población de hecho en 1991 de 88.914 habitantes.

El eje articulador de este territorio es el curso del río Jarama, que lo recorre de norte a sur, por lo que analizaremos una parte del valle del Jarama en la Comunidad de Madrid.

La plasmación de las ideas teóricas de la 1ª Parte de la Tesis se hacen realidad en el capítulo 6, mediante la realización del *Sistema de Información Ambiental del Valle del Jarama*. La laboriosa tarea de obtención de información, la adecuación de ésta a nuestros intereses, la entrada al sistema y su organización y manipulación, así como la cuantificación y representación de resultados presentada en este capítulo será la base de los restantes, en los que se analizan los resultados.

En el Capítulo 7 se hace una descripción de los diferentes cortes temporales analizados (1956, 1983, 1990 y 1992), estableciendo las funciones de este espacio a lo largo del tiempo. Este análisis, junto a la historia ambiental, pone en evidencia la necesidad de entender este espacio en función a su localización o como un área rururbana fuertemente condicionada por los aproximadamente veinte kilómetros que dista de la ciudad de Madrid.

Si la descripción espacio-temporal es la base de este Capítulo 7, el Capítulo 8 desarrolla las transformaciones que ha sufrido este espacio en los 36 años analizados, poniendo en relación estos cambios con la diferente demanda de los recursos de este territorio a lo largo del tiempo y los agentes que han propiciado las transformaciones.

Muchas de estas transformaciones han devenido en el área en procesos de degradación ambiental, que serán analizados en el Capítulo 9. En este capítulo también se visualizará el futuro próximo de la zona, mediante una de las funciones establecidas para los sistemas de información geográfica temporal, como es la de prospectiva.

La elección de este territorio como objeto de análisis se ha basado en dos premisas establecidas a priori.

La primera era la necesidad de analizar un espacio dinámico, un territorio que en los últimos años hubiera sufrido importantes transformaciones.

La segunda era que fuese un espacio en el que se enfrentaran dos de las ideas básicas de este trabajo como son la de degradación ambiental y las políticas correctoras de ésta, o lo que hemos denominado como *renovación ambiental*, y que se explica en el capítulo 2.

En cuanto a la elección de un área dinámica, que quedaba limitada a la Comunidad de Madrid al estar financiada esta Tesis por una beca de Investigación cuya línea era el estudio de las transformaciones ambientales madrileñas, se llevó a cabo de una forma empírica. La comparación de fotografías aéreas de toda la Comunidad de Madrid entre 1983 (el cambio entre 1956 -año del que disponemos de fotografías aéreas- y esta fecha se presuponía evidente) y las imágenes de satélite de 1990 determinó las áreas con mayores transformaciones: el espacio metropolitano madrileño, los zonas alrededor de los ejes de las carreteras radiales y los cursos de ríos como el Alberche, el Guadarrama y el Jarama. De entre estos espacios los cambios más espectaculares eran, sin duda, los del valle del Jarama.

El análisis de la historia ambiental de esta zona, bastante poco estudiada, que también aparece reflejada en el Capítulo 5, terminó de decidir su elección como espacio en el que desarrollar nuestras teorías acerca de las transformaciones ambientales y las herramientas con las que estudiarlas.

A mediados de este siglo el valle del Jarama presentaba un importante valor ecológico-recreacional, ejemplarmente reflejado en el libro *El Jarama* de Rafael Sánchez Ferlosio, siendo al mismo tiempo un área tradicionalmente degradada (los malos olores del Manzanares y los problemas ambientales de este río constituían una impronta clásica de la zona).

El análisis de la historia ambiental determinó que, a lo largo del tiempo, los problemas ambientales habían borrado la importancia ecológico-recreacional del área, a pesar de las numerosas políticas de renovación ambiental ensayadas, conformándose esta zona en la actualidad como una de las más degradadas de la Comunidad Madrileña.

La existencia de planes de recuperación ambiental desde la época de la II República hasta la actualidad reforzaron una vez más la elección de esta zona como idónea para un estudio de las características del nuestro.

Esta Tesis es el fruto del trabajo de cuatro años, pero también es el resultado de diversas influencias y experiencias personales del autor. Estas líneas están destinadas a presentar algunas de estas experiencias y agradecer las influencias, tanto académicas como personales, así como a describir la pequeña historia de la elaboración de este trabajo.

Esta Tesis está dedicada a todas las personas que han influido de alguna u otra forma tanto en mi vida como en mi formación y que sería muy largo de enumerar.

En primer lugar a mis padres, que me enseñaron valores tan importantes como la honradez, el trabajo bien hecho y la constancia, dentro del entorno rural en el que me crié y que ha conformado mi amor por la Naturaleza.

Este amor por la Naturaleza se enfocó hacia la geografía el día que, ya en la Facultad, la descubrí junto con los mapas, la forma más hermosa de escribir acerca de la Naturaleza.

Esta pasión se afianzó cuando ví por primera vez una fotografía aérea y conocí a la persona que me enseñó a leer en ellas, Ana Sabaté, mi Directora de Tesis y, mucho más importante, mi amiga.

Ana me ha enseñado en estos ocho años lo que es la geografía, el gusto por el trabajo bien hecho, el valor de la amistad y ha encauzado muchos de mis numerosos defectos que ella ha sufrido repetidas veces.

A ella le debo esta Tesis desde el día en que confió en mí para enseñarme lo que era la teledetección y trabajar en el Proyecto CORINE-Land Cover. Junto con Maribel y Félix el CORINE supuso algo más que un trabajo, aprendiendo unos de otros y trabajando verdaderamente en equipo.

La realización de la Tesis también ha sido posible gracias a la financiación de la Comunidad de Madrid a través de una de sus becas de investigación.

También se ha podido realizar esta Tesis gracias al apoyo del Departamento de Geografía Humana de la Universidad Complutense, cuyos integrantes me han acogido estos cuatro años.

Quiero agradecer asimismo la colaboración de mis compañeros y compañeras del Aula de Sistemas de Información Geográfica de este Departamento. Este Aula ha permitido la realización material de esta Tesis y entre sus paredes han quedado muchas horas de trabajo, de problemas con los ordenadores y las impresoras, de compañerismo y de satisfacción personal por haber contribuido a su puesta en ~~mar~~ **marcha**.

El tema de la Tesis es fruto de muchas discusiones durante la realización del CORINE y es la continuación de la Tesis de Ana Sabaté "El Impacto del Crecimiento de Madrid en su Provincia", leída hace ahora veinte años.

El descubrimiento de los cambios en el territorio a través de Ana durante los trabajos de campo del Proyecto CORINE y su estudio mediante teledetección conforman el punto de partida de esta Tesis.

La sólo aplicación de un sistema informático al análisis de los cambios ambientales nos parecía insuficiente, por lo que se emprendió una búsqueda de nuevas ideas acerca de estos temas. Las reflexiones de Gail Langran y los artículos de la revista *Cartographica* acerca del tiempo y los SIG abrieron nuevas perspectivas a esta Tesis. La labor de integrar el tiempo, los SIG, la teledetección y los mapas ha sido una de las tareas más arduas y gratificantes de esta Tesis. Aunque la primera parte, en donde aparecen, pueda parecer un estado de la cuestión es el resultado de numerosas lecturas y reflexiones personales sobre estos temas.

El siguiente paso consistió en encauzar estas ideas a su aplicación al espacio concreto que ya hemos descrito, que conforma la segunda parte de esta Tesis.

En esta segunda parte es donde se desarrolla nuestra aplicación concreta, donde no se busca tanto la explicación del uso de las herramientas como el resultado de sus aplicaciones.

Para concluir estos párrafos a modo de agradecimientos hay que mencionar a Mila, que me ha ayudado en muchos momentos de esta Tesis, a M^a Mar que la ha editado y a mi hermano Ángel, que la ha encuadernado.

Y a Marina, con la que he compartido estos cuatro años llenos de satisfacciones y a la que quiero dedicar este trabajo.

PARTE PRIMERA:
CAMBIO, TIEMPO Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

1 A MODO DE INTRODUCCIÓN

"Tenía el campo el color ardiente de los rastrojos. Un ocre inhóspito, sin sombra, bajo el borroso, impalpable sopor de aquella manta de tamo polvoriento. Sucesivas laderas se iban apoyando ondulantes, las unas con las otras, como lomos y lomos de animales cansados. Oculto, hundido entre los rebaños, dicurría el Jarama. Y aún al otro lado los eriales incultos repetían otra vez aquel mismo color de los rastrojos, como si el caústico sol de verano uniformase, en un sólo ocre sucio, todas las variaciones de la tierra".

Rafael Sánchez Ferlosio

1 A MODO DE INTRODUCCIÓN

1.1 Reestructuración económica y nuevas tecnologías

En un estudio sobre cambio ambiental nada mejor que comenzar con el intento de describir una época de caída de muros (CLAVAL, 1993), de cambios en las estructuras políticas, en el pensamiento, en las relaciones sociales y en la percepción de nuestro entorno o, según WELLMER (1993), conceptos y formas de pensamiento "poststicos" (postmarxismo, postguerra fría, postfordismo, postmodernismo...).

Estos cambios pueden sintetizarse bajo la denominación de *homogeneización* (FERNÁNDEZ DURÁN, 1993). La homogeneización se reflejaría, por un lado, en una reestructuración económica ante la crisis de un ciclo del capitalismo, en el paso, como lo denomina HARVEY (1989), del fordismo a la acumulación flexible, por otro, en la hegemonía política, tanto en el orden internacional (garantizando la primacía del bloque occidental), como en el nacional (neoliberalismo) y, por último, en el plano de las ideologías, creando una cultura de la uniformización.

El nuevo modelo de acumulación, siguiendo a HARVEY (1989), surge ante las rigideces del fordismo (en el mercado de trabajo, la localización industrial o la organización empresarial), la crisis de producción y consumo o las crisis energéticas. De esta forma los procesos de producción se flexibilizan mediante nuevos sectores de producción, nuevos servicios financieros, innovaciones tecnológicas y nuevos mercados que demandan productos diferentes y con unas pautas de consumo diferenciadas.

La característica principal de esta acumulación flexible en referencia al espacio se articula en la diversificación de la producción frente a la concentración del fordismo. Se produce un fenómeno de conglomerado espacial en el que predomina la dispersión frente a las concentraciones industriales tradicionales; el declive de la producción en grandes plantas industriales frente a la desconcentración; el auge de la subcontratación o los sistemas de producción global (HAMILTON, 1991) y la crisis de las ciudades industriales frente a espacios periféricos.

Las repercusiones de la reestructuración económica sobre el espacio pueden explicarse siguiendo las teorías de CASTELLS (1989) y SANTOS (1990). Milton Santos denomina "rugosidades" al espacio construido por las sucesivas estructuras sociales. De esta manera, las formas espaciales están originadas por modos de producción particulares, que pueden

desaparecer sin que las formas desaparezcan con ellos. El modo de producción, entendido como un modelo determinado de apropiación y distribución del beneficio surgido del proceso de producción, está condicionado por el modo de desarrollo, o los requerimientos tecnológicos que se necesitan para generar un producto. Según esto, en la actualidad nos encontramos en un *modo de producción informacional* (CASTELLS, 1989), en el que la productividad está ligada al conocimiento (o a la tecnología como uso del conocimiento científico). Enfrentado al industrialismo y su idea de crecimiento económico el "informacionalismo" busca el desarrollo tecnológico y la productividad a través del impacto de éste en los otros elementos de la producción.

Siguiendo con estas ideas, la producción de espacio está condicionada por las "rugosidades" y por el modo de desarrollo, en este caso el "informacionalismo". Las "rugosidades" son un doble producto espacio-temporal, la interrelación entre los lugares y los procesos (tanto económicos, como sociales, políticos o culturales). La reestructuración del capitalismo mediante el informacionalismo incide en esas rugosidades, modificándolas y la orientación del cambio, o la reestructuración, dependerá de las particularidades de cada lugar y las decisiones políticas que se tomen sobre él.

Así, los lugares son sustituidos por redes de flujos de información, creándose diferentes espacios según sea la exposición a esos flujos. De esta forma se origina un "espacio en collage", en el que conviven diferentes procesos y diferentes formas de producir espacio según las particularidades locales y las tendencias globales de división internacional del trabajo. Por lo tanto, estos procesos espaciales hemos de abordarlos desde una doble visión espacial y temporal (SANTOS, 1990), al ser tanto producto de una superposición de diferentes "rugosidades" como de la exposición de los lugares a las influencias transformadoras de cada momento.

El modo informacional de desarrollo va acompañado de una revolución tecnológica propiciada por la microelectrónica, basándose el proceso de producción en la información y siendo el resultado de la producción también información (CASTELLS, 1989).

Surge de esta forma la idea de revolución en la tecnología de la información y, como señala CLARK (1989), el conocimiento es poder y la tecnología es el modo que incrementa el conocimiento y asegura el poder.

Dentro de este marco se inscribe el auge del uso de la tecnología dentro de los estudios ambientales y en la geografía (BOARD, 1991). En la era de la tecnología de la

información y el informacionalismo las ciencias se dotan de herramientas que aseguren un mayor control del conocimiento, como es el caso de los SIG y la teledetección y la geografía (JOHNSTON, 1993).

Los sistemas de información geográfica no sólo han de entenderse como herramientas de adquisición, almacenamiento, manipulación y representación de datos espaciales, sino como parte integrante de una ciencia inmersa en una sociedad, en los manipuladores de esos instrumentos y, también, como la capacidad que pueden tener para transformar el mundo en el que vivimos.

La información y la tecnología de la información son parte esencial de la sociedad de hoy y están presentes en la mayoría de las actividades. Por tanto, la tecnología de la información, y los SIG, están inmersos dentro de ideologías, de conjuntos de valores que impregnan un modelo de organización económico-social y que presentamos en el apartado siguiente.

Otro aspecto importante en este nuevo modelo de desarrollo concierne a la internacionalización de la economía y una nueva visión acerca de lo global, o la "compresión del espacio-tiempo" como la denomina HARVEY (1989).

La economía se internacionaliza y se produce una división del trabajo a nivel mundial, surgiendo redes de comunicación que permiten la transferencia de información de forma inmediata a cualquier parte del mundo, se generalizan los satélites de comunicaciones, el desarrollo de los medios de transporte permite el trasiego de mercancías por todo el planeta y los medios de comunicación de masas favorecen el consumo de los mismos productos a través de todos los países. Este proceso ha favorecido que veamos a la Tierra en su conjunto y con unas dimensiones abarcables. Para LOVELOCK (en MYERS, 1987) uno de los resultados más importantes de la investigación espacial no ha sido la nueva tecnología, sino que por primera vez se ha podido ver la Tierra en su totalidad. Las imágenes obtenidas a través de satélites, otro elemento más en la revolución de la tecnología de la información, han permitido que, en consonancia con la "economía mundo", veamos nuestro planeta como un todo y nos planteemos los problemas ambientales como consecuencia de las acciones de la Humanidad a escala global.

Pero, por último, junto a la mundialización de la economía y a la homogeneización cultural, cada lugar presenta sus rugosidades determinadas, por lo que en este modelo de economía flexible uno de los principales retos será la integración de lo global y lo local, de

la macro y la microescala, y el mejor reflejo de esta convergencia o este enfrentamiento será la Tierra, entendida como espacio en transformación por la Humanidad.

1.2 Reestructuración económica e ideologías

La reestructuración económica, entendida como una superestructura, trae aparejado para algunos autores (HARVEY, 1989; PEET y THRIFT, 1989) un cambio en la cultura dominante, una nueva era dentro del capitalismo. Esta nueva fase se ha definido con el ambivalente nombre de *postmodernismo*.

El postmodernismo puede abordarse, siguiendo a CLOKE et al. (1991), desde dos puntos de vista: como un objeto (el postmodernismo como la ideología del modo informacional de desarrollo) o como una actitud (unas nuevas formas de pensar y describir la realidad).

El postmodernismo como objeto es el postindustrialismo o el postfordismo de los nuevos marxistas: la revolución provocada por la microelectrónica y la información, el consumismo, el poder del capital financiero, los métodos "flexibles" de acumulación, nuevos modelos de división espacial del trabajo, aumento de la separación Norte-Sur, nuevas formas de entender la arquitectura y la ciudad o nuevos productos culturales.

El postmodernismo como actitud es una nueva forma de inventar la realidad sistematizada por autores como Lyotard, Foucault, Derrida o Hassan, entre otros.

El postmodernismo es, en un principio, un término acuñado, aparentemente, por el escritor y profesor español Federico de Onís Sánchez en los años treinta de este siglo, que adquiere notoriedad en comentarios literarios de los años cincuenta y sesenta (BOYNE Y RATTANSI, 1990). Posteriormente el concepto es recogido por la arquitectura en los años setenta y ochenta y sistematizado para referirlo como un adjetivo que engloba a la sociedad en su conjunto.

El postmodernismo es la oposición a las ideas modernistas (HAZARD, 1985): el desarrollo del orden universal en la Naturaleza y los métodos científicos de aproximación a ella en consonancia, el proyecto ilustrado, una ciencia objetiva, una ley y moralidad universal, la dominación de la Naturaleza, la idea de progreso universal y eterno... Frente a estos ideales los hechos históricos han presentado una lógica de dominación y opresión que en nada se parece al progreso planteado por el proyecto ilustrado (HARVEY, 1989).

El postmodernismo es una revuelta contra la unión progresiva de la objetividad

científica y la racionalidad del modernismo, ideas heredadas del Siglo de las Luces. Frente a metanarrativas o discursos, tanto de la ciencia como de la política, propone una "conversación" entre todas las teorías en igualdad de condiciones, sin privilegios y sin buscar una justificación final, relegando la idea de una razón universal.

El postmodernismo proclama la heterogeneidad, la fragmentación, la diferencia y lo específico (BOYNE Y RATTANSI, 1990) y el rechazo hacia una ciencia unificada, a la idea de totalidad en el sentido de la unificación del lenguaje, la "gran teoría" de las ciencias sociales que trajo consigo la aparición de diversos discursos parciales, excluyentes entre sí y sin diálogo.

El postmodernismo es, también, el término "deconstrucción" (o genealogía o paralogismo). El lenguaje impone límites a nuestro conocimiento, por lo que hay que reducir los significados, las epistemologías, a estructuras simples para encontrar nuevos significados a los diferentes textos (entendiendo como texto no solamente las representaciones escritas, sino las composiciones musicales, la arquitectura o textos gráficos como son los mapas).

Y, finalmente, el postmodernismo es la diferencia (CLOKE et al., 1991): el énfasis en las diferencias que distinguen a los eventos, a los procesos, a los lugares y a la sociedad (diferencias entre hombres y mujeres, entre clases sociales, entre grupos humanos o entre grupos étnicos).

Junto al postmodernismo el *ambientalismo* puede ser considerado como otra ideología en la cultura de este nuevo período del capitalismo. El nuevo ambientalismo, heredero de las ideas de las décadas setenta y ochenta, ha sufrido un cambio que se manifiesta en las diversas posturas y acciones de los científicos, los políticos, los empresarios y de cada persona en particular.

O'RIORDAN (1989) agrupa las diversas actitudes ante el medio ambiente teniendo en cuenta las acciones de los diversos agentes transformadores:

a) Tecnocentrismo: tecnocentrismo o ecologismo social-darwinista como lo denomina MARTÍNEZ ALIER (1991), que propugna transformar la Tierra en un "jardín planificado" para el continuo progreso de la Humanidad.

-Intervencionismo : la Naturaleza permite un crecimiento continuado, con algunos desajustes ecológicos que pueden ser corregidos.

-Acomodación: es necesario acometer pequeñas reformas, ceder a algunas demandas de las posiciones ecologistas para que todo continúe igual.

b) **Ecocentrismo:** hay que llegar a una coexistencia entre Humanidad y Naturaleza.

-Comunalismo: cambiar la actual estructura de la sociedad y con ella la actitud y la utilización de la Naturaleza.

-Teoría Gaia: Gaia es un mecanismo bioquímico que engloba a todos los organismos y el medio físico de la Tierra. Este organismo puede continuar viviendo sin la Humanidad si esta altera los procesos naturales de regulación o introduce nuevas fuentes de energía o información. Pero la Humanidad también puede adaptarse a este organismo y continuar su existencia.

1.3 ... y Geografía

La geografía a finales de los años ochenta y principios de los noventa presenta una serie de corrientes que podemos enumerar como empirismo, humanismo-realismo, estructuralismo y postmodernismo (BIRD, 1993; CLOKE et al., 1991; GREGORY, 1989; GREGORY, 1994, JOHNSTON, 1993; PEET y THRIFT, 1989).

El *empirismo* se enmarca dentro de la ciencia positivista y el control técnico y entronca con el ambientalismo tecnocentrista que aparece indicado anteriormente. En muchos casos este empirismo se asocia a sistemas de información y, más concretamente, a SIG y teledetección.

La *geografía humanista-realista* se centra en filosofías como la fenomenología, el existencialismo o el realismo, en una filosofía metodológica que podríamos considerar como pragmatismo y en una temática que varía desde la geografía del comportamiento, la psicología ambiental o la hermenéutica.

El *estructuralismo* engloba al marxismo estructuralista así como al debate entre estructura y agente, entre medio material y las acciones y actitudes que cambian ese medio a lo largo del tiempo en los distintos lugares.

Junto a estas ideas DEAR (1988) propone reconstruir la geografía humana en una

época de cambio postmoderno:

a) **Teoría:** basada en la teoría social (la estructura y evolución de la sociedad en el espacio y en el tiempo).

b) **Método:** la construcción de un discurso comparativo.

c) **Objeto:** estudiar estructura y agente; sociedad y espacio. Los paisajes humanos han sido creados por actores (agentes) que actúan en un contexto social (estructura). Es necesario determinar una narrativa del paisaje que recoja, por una lado, las estructuras y agentes a largo plazo y las prácticas diarias de los agentes individuales, determinar las relaciones espacio-tiempo.

GREGORY (1989), siguiendo estas ideas, se refiere a las relaciones de la geografía con otras disciplinas como un movimiento en dirección al postmodernismo.

El diálogo de la geografía con la economía política, la sociología y la antropología ha supuesto un verdadero revulsivo en la disciplina.

La economía política o economía social no ve los sistemas de producción ni la producción social como un acto neutro realizado por agentes neutrales, sino como un acto político conducido por miembros de clases u otros grupos sociales (PEET Y THRIFT, 1989). Estas ideas fueron recogidas y han sido legadas por los geógrafos marxistas en formulaciones como las tensiones en el espacio del capitalismo contemporáneo o la división espacial del trabajo.

La economía política ha influido también en el replanteamiento en geografía de las relaciones Humanidad-medio. Las relaciones entre economía y ecología han determinado el nacimiento de una ecología política, traspasada a nuestra disciplina como ecología política regional (WATTS, 1989), que toma como base la diferente distribución espacial del consumo de energía y de la degradación ambiental.

Uno de los más significativos teóricos de la ecología política o marxismo ecológico es el catalán Joan Martínez Alier (MARTÍNEZ ALIER y SCHLÜPMAM, 1991) del que entresacamos algunas ideas sobre la disciplina.

La economía ecológica (contraria a la economía "crematística" que únicamente se basa

en el estudio de la formación de los precios en los mercados e imperante en los actuales análisis económicos) aporta dos teorías centrales: las exacciones o extracción de recursos energéticos y materiales agotables o lentamente renovables y las inserciones en el medio ambiente.

En el primer caso, la extracción de recursos, hay que tener en cuenta una nueva dimensión en su evaluación: la asignación intergeneracional de recursos agotables. Los recursos terrestres no pertenecen únicamente a la generación contemporánea, sino también a las generaciones futuras que no son tenidas en cuenta ya que no participan en el mercado.

Las inserciones en el medio ambiente, o polución, o, en lenguaje económico, una externalidad negativa, presentan la particularidad de diferenciarse tanto entre las personas como en su distribución espacial. Los seres humanos consumimos energía y materiales de una forma endosomática (consumo de cada individuo por el hecho de vivir) y exosomática (unos individuos consumen más energía y deterioran más el medio ambiente que otros). La distribución espacial del consumo de energía y materiales es, asimismo, diferenciable espacialmente. Hablaremos entonces de una geografía ecológica, estrechamente unida a una geografía política: las diferencias entre territorios crean espacios marginales.

La sociología ha aportado en el diálogo la teoría social, la teoría postmarxista de estructuración que determina la estructura y evolución de la sociedad en el tiempo y en el espacio.

Y, por último, el acercamiento a la antropología ha supuesto una vuelta a la geografía cultural (TURNER, 1989), con nuevas formas de descripción de las estructuras sociales y, por extensión, la decodificación de paisajes, el desenmascaramiento de las funciones de los lugares a lo largo del tiempo.

La antropología, la etnografía, ha aportado nuevos métodos de descripción y representación: la búsqueda de otras posibilidades frente a las narrativas convencionales. Y, si el espacio es el objeto de la geografía, su representación, el mapa, también ha sido redefinido. El mapa es considerado como un texto gráfico, un texto cultural, una construcción empleando un sistema convencional de signos y no sólo un "reflejo científico" de la realidad (HARLEY, 1989).

Junto a este diálogo con otras disciplinas también aparece en geografía una vuelta a los orígenes, un proceso de deconstrucción para volver a construir, como es el caso de la *nueva geografía regional* (GILBERT, 1988; THRIFT, 1990). Es el redescubrimiento de lo

específico, el realce de la diversidad y un modo postpositivista de investigación con la adopción de la asunción de la persistente diferenciación y regionalización del mundo. La región es vista como una compleja interacción entre actores sociales y el medio ambiente material afectado y que afecta a las relaciones sociales. También se redescubre la idea de que la región no es el resultado fortuito de una secuencia de eventos independientes, en palabras de Milton Santos (1990, pág. 69) *"el espacio que la geografía matemática pretende reproducir no es el espacio de las sociedades en movimiento y sí la fotografía de algunos momentos. Ahora bien, las fotografías apenas son una descripción y las simples descripciones no se pueden confundir jamás con la explicación"*.

Si nos encontramos en un modo informacional de desarrollo también podemos hablar de una "geografía informacional" o una revolución en la tecnología de la información, como señala CLARK (1989), de quién desarrollaremos sus ideas. Según este autor la revolución en la tecnología de la información en geografía se ha manifestado en tres aspectos: la adquisición de los datos, la resolución espacial y temporal y la información multivariada.

El estudio de los lugares en el espacio-tiempo está limitado a la capacidad de nuestros sentidos para aprehender esos lugares. Las nuevas tecnologías (los sensores remotos) nos permiten captar regiones no alcanzables por nuestros sentidos: ampliación del espectro que captan nuestros ojos (infrarrojos, radar), nueva visión de la Tierra desde escalas locales a una escala global y la posibilidad de recrear procesos y no solamente los eventos por medio de la resolución temporal de los sensores remotos.

El tratamiento de la información también ha experimentado un profundo cambio. Los sistemas de información geográfica permiten una combinación de atributos impensable antes, siendo posible hablar de una verdadera información multivariada.

Como conclusión señalar que asistimos a una etapa de transición, de cambios, con nuevos modos de producción y nuevas tecnologías y, también, con nuevas ideologías. Y, como no, esas transformaciones inciden de formas muy diversas en el espacio...y en la geografía.

1.4 Posiciones y objetivos de este trabajo

Este ligero repaso, a modo de introducción, al estado actual de la sociedad, la ciencia y la geografía puede entroncar con las posiciones y los objetivos básicos planteados en este trabajo.

Las posiciones, y los objetivos que conllevan, pueden englobarse en tres categorías: ambientalismo, teoría social y deconstrucción.

Uno de los postulados fundamentales del ambientalismo que cultivan algunos sectores científicos es el de la explotación de la Tierra (O'RIORDAN, 1989). Esta explotación se refleja en la expoliación de los recursos naturales, en las exacciones de recursos energéticos y materiales y del retorno de esa energía y esos materiales utilizados al medio ambiente en forma de inserciones negativas (los materiales, si no se reciclan devienen desechos o contaminación; la energía se disipa). Esta explotación es función de un proceso de dominación o de acumulación de los recursos naturales por una parte de la Humanidad.

Otro de los principios fundamentales de este nuevo ambientalismo es el de la conservación de los recursos agotables para las generaciones futuras.

Entre estas dos ideas se encuentran dos términos básicos en nuestro trabajo: cambio ambiental y degradación ambiental. La creciente preocupación hacia el cambio ambiental, así como su definición, ocuparán una parte importante del análisis. Unido al cambio aparece la noción de degradación ambiental, explicable mediante las teorías de la ecología política, al igual que las nociones anteriormente expresadas (BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987).

El cambio y la degradación ambiental se reflejan en diversos procesos ("efecto invernadero", disminución de la capa de ozono, deposiciones ácidas, deforestación, desertificación o erosión del suelo). Aquí solamente nos ocuparemos de uno de ellos, consecuencia de la intervención humana directa, como son los cambios en la ocupación del suelo.

En esta Tesis, al término ecología política se le une otro adjetivo como es el de regional. Con la palabra regional se hace referencia, por un lado, a la diferente distribución espacial de la degradación ambiental y, por otro, al concepto de marginación ambiental o creación de espacios marginales frente a otros más favorecidos. Por este motivo se ha escogido un área de trabajo considerada a priori como marginal desde el punto de vista ambiental: el valle del Jarama. Esta marginalidad se expresa en la exacción de recursos agotables como son la extracción de áridos (las graveras son un uso dominante en la zona) o el consumo de suelo (instalaciones industriales o áreas residenciales) unido a un retorno en forma de externalidades negativas (fuerte deterioro del paisaje, instalaciones de vertederos o depuradoras, malos olores, etc.)

Este nuevo ambientalismo surge en un momento que podría denominarse de revolución

en la tecnología de la información (CLARK, 1989), con la utilización de las imágenes obtenidas por satélites de observación de la Tierra y los sistemas de información geográfica. La aplicación de estas dos herramientas a los estudios de cambio y degradación ambiental, utilizadas profusamente por el ambientalismo tecnocentrista, puede entroncar con la tradición en geografía de los estudios sobre las relaciones Tierra-Humanidad (KATES, 1987) y convertirse en una "tecnología verde". La adquisición de datos, su manipulación y la posterior conversión en información ambiental se realizará en este trabajo, mayoritariamente, mediante fotografías aéreas, imágenes de satélite y sistemas de información geográfica.

Siguiendo a DEAR (1987), además de las ideas de la ecología política regional mencionadas más arriba y que se desarrollarán posteriormente, la base teórica de este trabajo también tiene en cuenta la teoría social en la que los lugares son producto de la apropiación y transformación del espacio, y del medio ambiente, que es inseparable de la reproducción y transformación de la sociedad tanto en el espacio como en el tiempo (PRED, 1984).

El término deconstrucción, y su significado, se hará patente al abordar la representación del cambio ambiental mediante la principal herramienta geográfica que es el mapa (HARLEY, 1989). Decodificando el mapa como un texto gráfico seguiremos un proyecto de construcción del llamado tiempo cartográfico, o la inclusión o redescubrimiento de la cuarta dimensión en los mapas. De esta forma se buscarán y ensayarán nuevas formas de representación de la realidad considerando la dimensión temporal como protagonista.

El tema principal de esta Tesis es, por tanto, y para finalizar las posiciones iniciales en este trabajo, compatibilizar las ideas de la ecología política regional de cambio, degradación y marginación ambiental con la teoría sobre la estructura y los eventos y ejemplificarlo mediante la utilización de nuevas tecnologías y nuevas formas de representación gráfica de los hechos geográficos.

Esta temática exige el planteamiento de unos objetivos iniciales.

El primero de ellos es la construcción de un discurso en el que se integren aspectos, en teoría tan dispares, como el cambio en la ocupación del suelo, y la degradación ambiental que puede acarrear, y el análisis del tiempo, ya que los cambios son el reflejo del paso de éste. La primera parte de esta Tesis, aunque pueda ser considerada como el estado de la cuestión sobre estos temas, pretende, sobre todo, construir una teoría en la que se ponga en evidencia la dimensión temporal de los hechos geográficos, junto a su dimensión espacial.

Como el mapa, continuando con los objetivos, es la principal herramienta con la que

cuenta la geografía, objeto básico de esta Tesis también será determinar la cuarta dimensión de estos textos gráficos, que son los mapas, o establecer lo que hemos denominado el *tiempo cartográfico*.

De esta forma, el objetivo de este trabajo será estudiar los recursos, los agentes transformadores y los eventos del valle del Jarama mediante herramientas que permitan analizar no sólo la dimensión espacial de los hechos geográficos, sino también la temporal.

Para ello se ha determinado una metodología denominada *sistemas de información geográfica temporal* y unas herramientas que serán tanto la teledetección como los SIG en sentido estricto.

Esta metodología conllevará determinar la información temporal que tendremos que utilizar para analizar los recursos de un área, las transformaciones ambientales a lo largo del tiempo y los agentes que han propiciado éstas.

También será necesario establecer las fuentes de información, especialmente en la ocupación del suelo, abogándose en este estudio por una herramienta que ofrece unas resoluciones tanto espacial como temporal adecuadas, como es la teledetección.

Una vez establecidos los datos y convertidos en información útil para nuestros fines la metodología planteada exigirá la organización y manipulación de ésta. Los sistemas de información geográfica serán la herramienta clave en estas tareas, pero haciendo explícita la dimensión temporal de los hechos geográficos.

Finalmente habrá que representar los cambios por lo que otro objetivo de este trabajo será establecer formas adecuadas de incluir la dimensión temporal en los mapas o establecer una cartografía temporal.

Estos objetivos y estas herramientas se aplicarán a un espacio concreto como es el valle del Jarama según las funciones que estableceremos en nuestra metodología para los sistemas de información geográfica temporal.

La descripción será una de estas funciones mediante la obtención, utilizando la teledetección, de la información referente a la ocupación del suelo en cada momento analizado (1956, 1983, 1990 y 1992). De esta forma podremos obtener tanto representaciones gráficas como datos estadísticos que nos permitan establecer la historia de las relaciones entre los recursos y los agentes a lo largo del tiempo.

El control de los procesos ambientales en el valle del Jarama será otra de las funciones a establecer dentro de estos objetivos básicos para nuestro trabajo. De esta forma

analizaremos tanto los procesos, como los recursos y los agentes transformadores en el momento actual. La representación de estos procesos ambientales en mapas temporales será otro de los objetivos que perseguimos en esta Tesis.

Muchos de los procesos de transformación serán considerados como degradación ambiental. El establecimiento de los problemas ambientales de la zona y sus causas será otro objetivo a perseguir.

La evaluación de las políticas ambientales empleadas en la zona constituirá otra de las funciones de nuestra metodología, así como la prospectiva o la previsión del futuro.

De esta forma, se determinarán para el valle del Jarama las transformaciones ambientales y los recursos del territorio así como los agentes y sus acciones mediante una metodología en la que se haga explícita la dimensión temporal de los hechos geográficos, utilizando como herramientas los sistemas de información geográfica, la teledetección y la cartografía, en una variante que hemos denominado cartografía temporal.

2 CAMBIO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL

-Recorre nuestra montaña con los ojos. Sus suaves pendientes, sus valles secretos, sus grutas, sus peñascos, su brisa perfumada y los colores cambiantes de su vestido. Bella como una mujer. Bella como Lamia. Y también ella lleva su belleza como una cruz.

Codiciada, violentada, atropellada, a menudo seducida, algunas veces amada y enamorada. ¿Qué significan el adulterio, la virtud y la bastardía en relación con los siglos?. Sólo son las artimañas de la creación.

Amin Maaluf

2 CAMBIO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL

2.1 Las transformaciones ambientales

En la ciencia en general y en la geografía en particular, se está produciendo un gran interés por el cambio, tanto en la sociedad como en el medio ambiente y sus repercusiones sobre el planeta y sus habitantes.

En un capítulo del libro *The Third Revolution* (HARRISON, 1992) se señala que el planeta vive en una continuada crisis ambiental. La primera de estas grandes crisis se produjo por la búsqueda de comida y la Revolución Agrícola; la segunda vendría determinada por el dominio de la energía y la Revolución Industrial (una documentada exposición de la historia del cambio ambiental aparece en MANNION, 1991). La tercera gran crisis puede estar ante nuestras puertas y puede traernos nuestra degradación como sociedad o lo que Lester Brown (1992) llama la Revolución Ecológica. Esta tercera revolución se plantea en términos de construcción de un futuro sostenible que depende de la reestructuración de la economía mundial, de cambios fundamentales en el comportamiento reproductivo del ser humano y de la transformación de sus valores y estilo de vida.

Que la destrucción de la naturaleza no es un tema nuevo es bien conocido. Para ilustrarlo podemos presentar una canción popular (*Bonny Portmore*) interpretada por Loreena McKennitt que en su presentación señala:

"La destrucción de los bosques centenarios ha tomado una enorme importancia en estos años, pero no es un fenómeno nuevo. A través de los siglos muchos de estos bosques de robles en Irlanda han sido talados para usos militares y la construcción de navíos: sólo recientemente se ha hecho un esfuerzo para restablecer esos grandes espacios boscosos. El Great Oak de Portmore permanece bajo la propiedad del Castillo de Portmore, en la costa de Lough Beg".

(Loreena McKennitt: *The Visit*, Warner Music, 1991).

Tampoco son recientes las teorías conservacionistas con respecto al medio ambiente. URTEAGA (1987) describe las concepciones conservacionistas emergentes en el siglo XVIII:

"El conservacionismo, tal como puede entenderse en la centuria ilustrada, supone un desarrollo complementario de diferentes nociones científicas. Primero, la idea de que los recursos naturales no son ilimitados, y de ahí la necesidad de una explotación cautelosa de la naturaleza. Segundo, la percepción bastante clara de los lazos que vinculan a los organismos entre sí, y a estos con el medio ambiente físico. Tercero, la noción de fragilidad del equilibrio natural, este equilibrio puede verse alterado por la acción sobreexplotadora de la sociedad. Cuarto, y ya en el terreno económico, se manifiesta una clara condena del despilfarro en la administración de los recursos naturales y se evidencia la necesidad de una acción cautelar, incluso mediante leyes, que favorezca la protección y conservación de la naturaleza".

Un ejemplo más cercano acerca de la antigua y cambiante percepción de las transformaciones ambientales nos lo proporciona MARTÍNEZ ALIER (1991). "El efecto invernadero" (la absorción por el dióxido de carbono y el vapor de agua de la atmósfera de la radiación reflejada por la Tierra y el aumento consiguiente de la temperatura global) fue observado por primera vez en 1903 por Arrhenius. Este investigador veía con optimismo este aumento de la temperatura de la Tierra y en la década de los años 30 se consideraba que este fenómeno favorecía la expansión de la agricultura en zonas entonces incultivables por razones térmicas. Hasta los años cincuenta y sesenta no se descubrió que el "efecto invernadero" conllevaría una expansión de la masa de agua de los océanos convirtiéndose, hoy en día, en uno de los problemas ambientales percibidos como más alarmantes.

Entonces, ¿por qué este creciente e inusitado interés por el cambio en la Tierra?.

En primer lugar, porque se ha producido un cambio en la economía, con una internacionalización de ésta, propiciada por el cambio tecnológico, la mejora del transporte y las comunicaciones y la consolidación de las empresas multinacionales (HAMILTON, 1991). Hemos sufrido, o estamos sufriendo, una reestructuración profunda del capitalismo para encaminarnos a una sociedad posindustrial o postfordista en la que el mundo (evidentemente el desarrollado) se ha convertido en una "aldea global".

En segundo lugar, porque se han retomado las ideas ambientalistas. El medio ambiente (su degradación) es visto como un problema social. La degradación ambiental, en gran medida, es consecuencia de la interferencia humana, por lo que es necesario determinar la degradación según criterios sociales, en los que se tenga en cuenta tanto el uso actual de los recursos como su uso potencial (BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987). En definitiva, se trata

de hacer un correcto uso del recurso medio ambiente y evitar su deterioro para que la Humanidad pueda seguir progresando en este planeta.

Esta es la idea del desarrollo sostenible de la Biosfera y los diversos manifiestos en su apoyo: la Estrategia Mundial para la Conservación de la Naturaleza (1980) elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN); los informes del Club de Roma (desde 1972); las Conferencias de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente celebradas en Estocolmo (1972), Nairobi (1982) y Río de Janeiro (1992); la Declaración Ministerial de Bergen sobre Desarrollo Sostenible (1990) de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas o el Informe Brundtland o *Nuestro Futuro Común* de 1987 (QUERCUS, 1991).

Finalmente, y no menos importante, es el cambio de actitud hacia el medio ambiente, un cambio en la ética ambiental de la sociedad (ROLSTON, 1992). La nueva conciencia ambiental se apoya en uno de los mejores mecanismos que propician el cambio: la información, el acceso a nueva información (la divulgación científica de los temas medioambientales o la educación ambiental) o nuevas experiencias por parte de cada individuo, como la contaminación diaria que soportamos gran parte de la Humanidad.

RAMOS (1990) presenta, con estas mismas ideas, una original forma de clasificar los problemas ambientales: problemas reales e irreales, subdivididos en sentidos y no sentidos. Un problema irreal, pero sentido, como ejemplo, sería la instalación de un servicio social (una cárcel, un centro de toxicómanos) en un municipio cuyos habitantes consideran que degrada su entorno.

Por tanto, la concepción que tenemos del medio ambiente (y del cambio ambiental) depende enormemente de nuestra particular percepción hacia él, de la información que dispongamos o de nuestra propia experiencia de vida.

Además, ¿por qué este interés de la geografía hacia el cambio ambiental?.

En gran medida, como reacción ante un problema sentido por la sociedad. La geografía, parte integrante de esa sociedad, plantea las soluciones a ese problema desde su perspectiva. Además, en relación con lo anterior, porque, como señala WATTS (1989), pretende desquitarse de dejar pasar el liderazgo intelectual del ambientalismo de los años setenta, y sí actuar como disciplina articuladora ante la nueva crisis ecológica de los ochenta y noventa producida por la reestructuración del capitalismo.

De las cuatro tradiciones en geografía que señala KATES (1987) -espacial, regional,

ciencia de la Tierra y relaciones entre la Humanidad y la Tierra- la última ha sido un camino que no se ha seguido. Después del casi absoluto predominio de la tradición espacial la geografía ha de hacer frente a viejos y nuevos problemas: el dilema malthusiano de la población y los recursos, la transformación de la Tierra por la Humanidad y el desarrollo sostenible de la Biosfera.

2.2 Degradación ambiental

Si ya hemos visto que existe una emergente geografía del cambio ambiental también asistimos al creciente empleo del término *degradación ambiental* (preferimos esta denominación a la de *land degradation* anglosajona al considerar ésta como restrictiva de procesos que sólo afectan a la litosfera).

El cambio ambiental puede ser considerado como un proceso continuo, desde el origen de la Tierra, por el que sistemas dinámicos de transferencia de energía y materia, operando a escala global, han producido transformaciones en la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera, incrementados con la aparición del hombre y su posterior evolución (MANNION, 1991).

La degradación ambiental puede ser enfocada desde una perspectiva social (BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987). La degradación implica una reducción a un estadio inferior, y el estadio se basa en la relación con el uso actual o potencial de los recursos. La degradación trae aparejada una disminución de la productividad, con un mayor consumo de capital y trabajo, y la reducción de la capacidad de los recursos naturales de satisfacer un uso particular, con los costes económicos y sociales que esto acarrea. La degradación ha de verse, por tanto, como un problema social y los cambios físicos de la Tierra han de ser evaluados, también, en términos sociales.

La degradación puede ser analizada siguiendo la ecuación presentada en la figura 2.1.

$$\text{Degradación ambiental} =$$
$$(\text{procesos de degradación natural} + \text{interferencia humana}) -$$
$$(\text{reproducción natural} + \text{política de renovación ambiental})$$

Fig 2.1. : *La ecuación de la degradación ambiental* (BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987)

La degradación ambiental surge como una dinámica en los propios sistemas terrestres a lo que se une la actividad de la Humanidad como modificador del paisaje. Al mismo

tiempo, los propios sistemas presentan mecanismos de corrección de la degradación, entendidos como reproducción natural, ayudada por las posibles acciones reparadoras de la Humanidad, referidas como políticas de renovación ambiental.

Las causas de la degradación ambiental pueden ser variadas (BARROW, 1991; BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987):

- Riesgos y procesos naturales.
- Incremento de la población.
- Marginación, tanto en su definición económica (algo o alguien que posee o produce escasas rentas); ecológica (ecosistemas que se encuentran en el margen de su área óptima de supervivencia) o social (creación de espacios, colectivos o individuos marginales frente a otros más favorecidos).

De esta forma, las relaciones entre sociedad, cambio y degradación ambiental pueden ser estudiadas en geografía mediante los postulados de la ecología política regional (BLAIKIE y BROOKFIELD, 1987; MARTÍNEZ ALIER y SCHLÜPMAN, 1991; WATTS, 1989).

La ecología política une nociones tanto de la ecología como de la economía política (la constante dialéctica entre sociedad y recursos y entre clases y grupos sociales). El término regional (añadido en los trabajos de los geógrafos) se refiere a las variaciones medioambientales de la Tierra y a las diferentes demandas que sufre tanto en el espacio como a lo largo del tiempo.

Los diferentes procesos de degradación ambiental en los que se aprecia la interferencia humana, (aquí no vamos a hablar de los procesos estrictamente naturales que pueden ser consultados en ORTEGA ALBA, 1991), pueden esquematizarse en la siguiente clasificación, según afecten al clima y la hidrosfera o los ecosistemas terrestres (BARROW, 1991; COMITE ON EARTH ENVIRONMENTAL SCIENCES, 1991; COREL y ANDERSON, 1991; DETWYLER, 1971; GOUDIE, 1981; MANNION, 1991; TURNER, 1990):

2.2.1 Clima y ciclo hidrológico

Procesos atmosféricos, oceánicos y criogénicos que gobiernan la distribución planetaria de la temperatura y el agua. Afectados enormemente por la polución causada, fundamentalmente, por las áreas industrializadas y urbanizadas: "efecto invernadero", disminución de la capa de ozono estratosférica y deposiciones ácidas.

La degradación se refleja en cambios en el clima, aumento del nivel de los océanos, cambios en los caudales de los ríos, deforestación, disminución de la productividad de los cultivos por acidificación, etc.

2.2.2 Ecosistemas terrestres

Los procesos de degradación ambiental en los ecosistemas terrestres pueden desglosarse en los siguientes:

-Deforestación

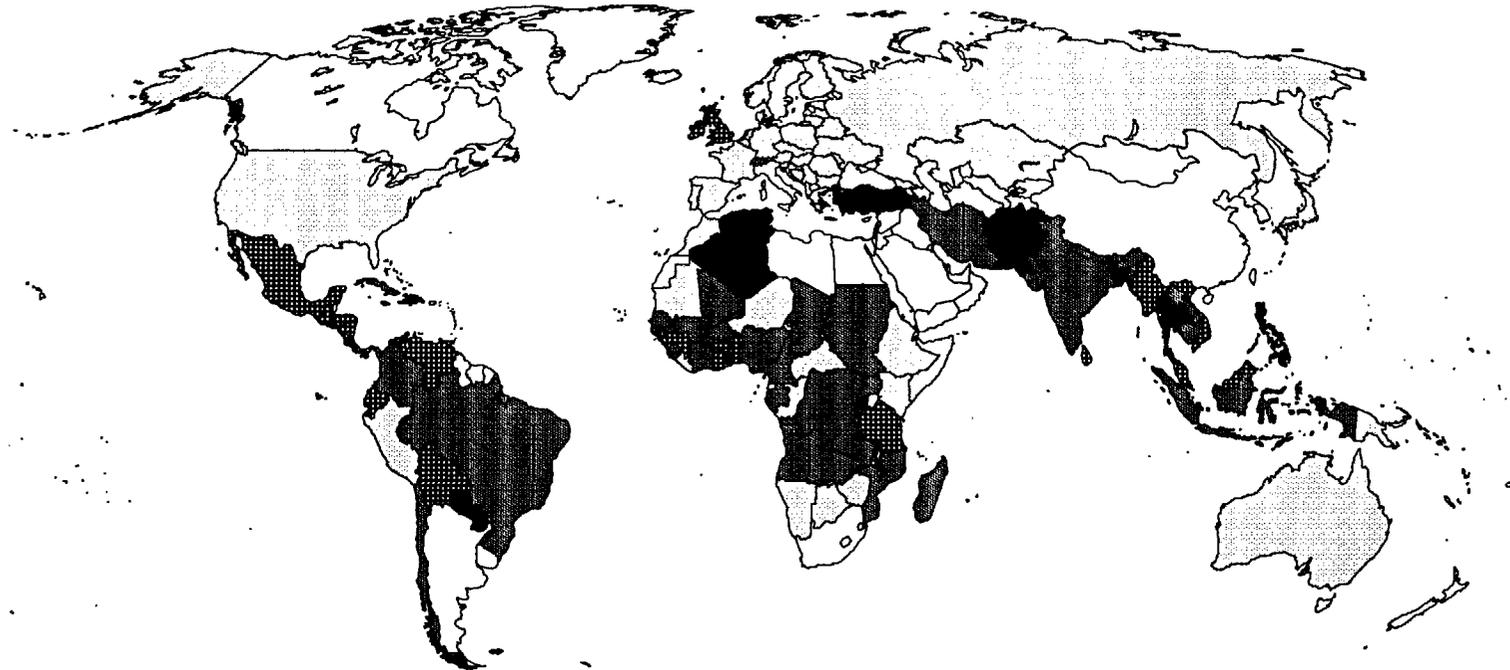
Pérdida de bosques y matorrales tanto tropicales, subtropicales, mediterráneos o boreales. Las causas de la pérdida de superficies boscosas son variadas: presión de la población sobre los recursos, creación de redes de conexión e instalaciones energéticas, expansión de la agricultura, monocultivos agrícolas internacionalizados, demanda de productos forestales, el fuego (especialmente en los bosques mediterráneos), etc.

Aunque el impacto de la deforestación es local, sus consecuencias pueden tener alcance global: cambios en el clima, alteración de los ciclos hidrológicos...

La figura 2.2 presenta el porcentaje de deforestación anual media (la transformación de bosques en tierras labradas, asentamientos urbanos, infraestructuras de conexión e instalaciones de extracción minera), para la década de los años ochenta, según el *World Resources Institute* (1994). Aunque no aparecen datos referentes a los bosques boreales de Canadá y las superficies boscosas de China, Escandinavia, el sur de Africa y América y el Oriente Próximo, el mapa muestra una franja de deforestación alrededor de los bosques tropicales del planeta, reduciéndose considerablemente el porcentaje en los países de bosques templados, prósperos, desarrollados y con dinámicas transformadoras anteriores. La deforestación tiene una especial incidencia en América Central (con Costa Rica a la cabeza, seguido de países caribeños como Jamaica, Haití y la República Dominicana) y del sudeste asiático y países como Paraguay, Argelia, Turquía, Pakistán y Afganistán. Los valores de deforestación europeos son relativamente bajos, a excepción de las Islas Británicas, aunque no aparecen reflejados la destrucción de bosques por los incendios forestales, con una trágica y notable incidencia en los países mediterráneos.

% DEFORESTACION ANUAL MEDIA 1981-1990

DESTRUCCION DE BOSQUES POR LA AGRICULTURA Y LOS ASENTAMIENTOS URBANOS



% DEFORESTACION ANUAL MEDIA

0-0.5

0.6-1

1.1-2

2.1-6

sin datos

Fig. 2.2

FUENTE: World Resources Institute (1994)

-Desertificación

Entendida como la degradación de ecosistemas en regiones áridas o semiáridas. Las causas fundamentales de la desertificación son usos del suelo inadecuados a las condiciones naturales, causas naturales (como la sequía o las plagas de insectos de Africa y Oriente Próximo), el fuego o el sobrepastoreo.

-Erosión del suelo

Desgaste de la superficie terrestre por la acción de los agentes erosivos por causas tanto medioambientales como culturales, institucionales, sociales o económicas (ALBADALEJO et al., 1990).

-Degradación del suelo

Procesos de degradación no erosivos causados, fundamentalmente, por prácticas agronómicas inadecuadas: pérdida de fertilidad del suelo, disminución de los porcentajes de materia orgánica, cambios estructurales como la laterización, acidificación, salinización o la contaminación agrícola y el consiguiente deterioro de las aguas o "eutrofización cultural" (MANNION, 1991).

-Cambios geomorfológicos

El ser humano es un agente geomorfológico de primer orden. La urbanización provoca un cambio radical en el paisaje y supone fuertes movimientos de tierra que alteran las relaciones entre clima y suelo y desencadenan procesos de erosión. Son igualmente impactantes la construcción de infraestructuras de conexión y las instalaciones de extracción minera. También es un importante agente de transformación sobre las áreas costeras y sobre los cursos de los ríos.

2.3 Cambio y degradación ambiental en los ecosistemas terrestres: la ocupación del suelo

La ocupación del suelo puede ser definida como un sistema en el que se relacionan suelo, superficies de agua y vegetación con las instalaciones y las actividades humanas y, en gran medida, es un producto directo de la acción humana sobre la superficie terrestre.

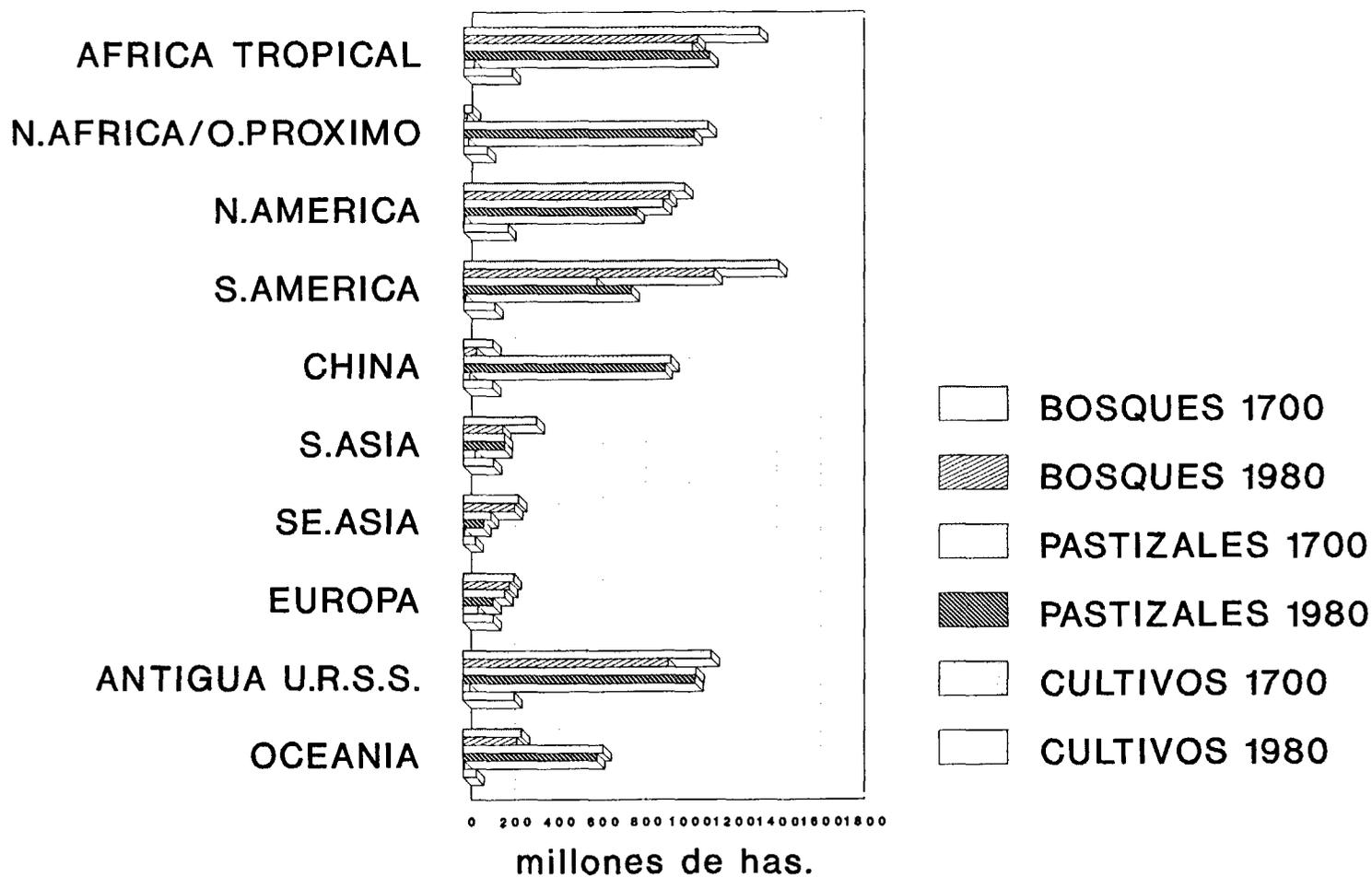
La figura 2.3 muestra los cambios en tres tipos de ocupación del suelo (bosques, pastizales y cultivos) desde 1700 a 1980 para todo el planeta. En estos datos, teniendo siempre en cuenta la precariedad de este tipo de información, se observa la presión de la Humanidad sobre el territorio, atendiendo tanto a las características físicas de cada lugar como a sus particularidades históricas.

El hecho más significativo en la ocupación del suelo entre estos dos aniversarios es la pérdida de los espacios naturales ante la expansión de las áreas cultivadas. Los bosques dejan paso a los pastizales (como se puede ver para África tropical o América del Sur) y, en economías más desarrolladas y con más recursos sin explotar (América del Norte, Australia y Nueva Zelanda) a cultivos. Siguiendo a TURNER (1990) los bosques pasan de 1.358 millones de hectáreas en 1.700 a 1.074 m. de has. en 1980, o una destrucción de un 20% de la superficie arbolada del planeta en casi tres siglos. Esta destrucción es aún más acusada en África del Norte y Oriente Próximo, con la destrucción del 63% de sus bosques o la de China, con el 57% de su superficie boscosa desaparecida.

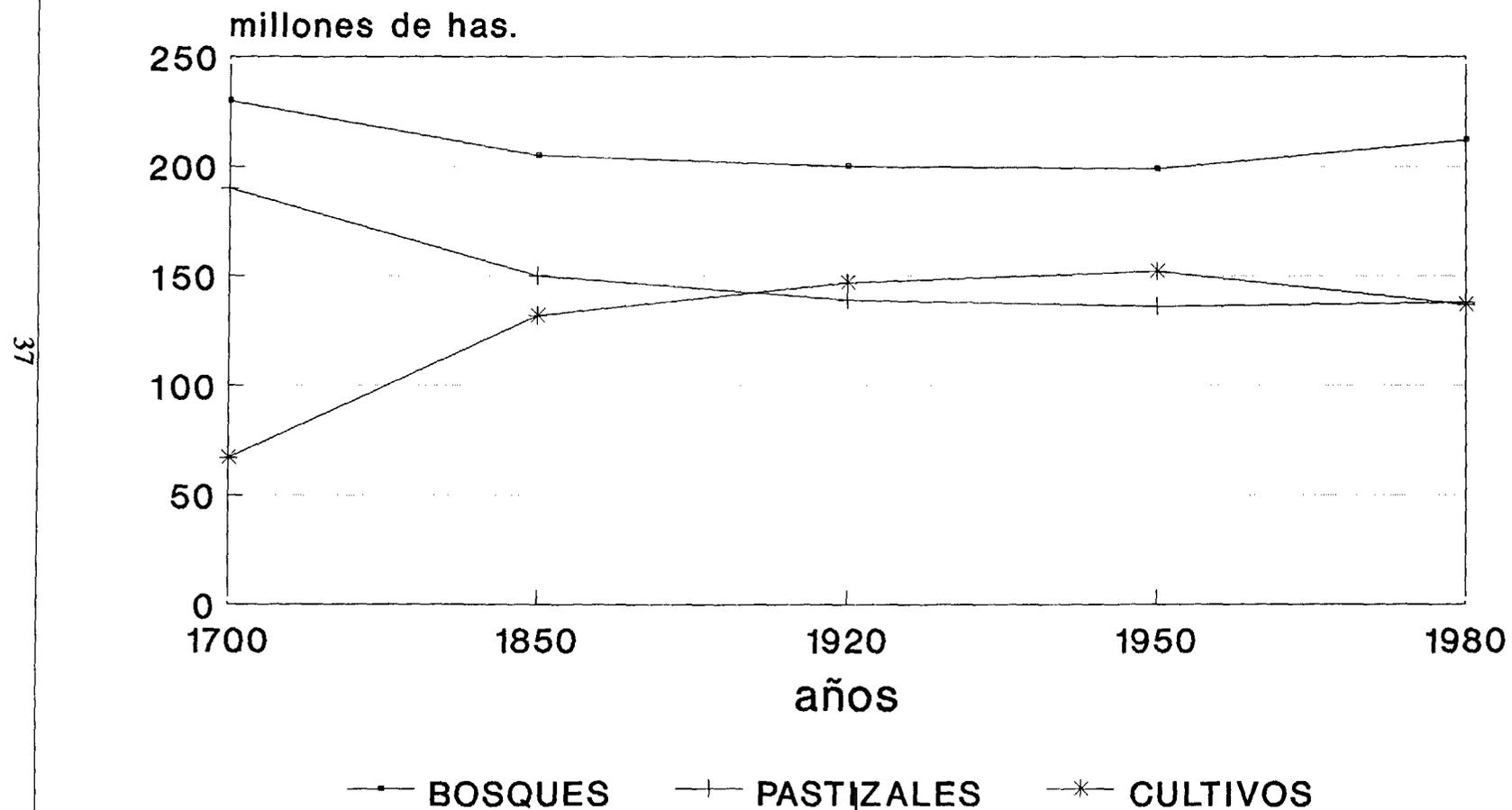
La invasión de áreas de matorrales por tierras de laboreo es aún más drástica. De 3 millones de has. de tierras cultivadas en 1.700 en América del Norte se pasa a 203 millones en 1980. Estos datos son también similares para Iberoamérica u Oceanía.

En Europa, la dinámica en la ocupación del suelo ha seguido una tendencia similar a la del resto del planeta (Fig. 2.4). Los bosques y pastizales han sufrido un declive progresivo desde los siglos XI a XIV, momento de máxima colonización de nuevas tierras en el continente europeo (GRIGG, 1992). En el siglo XVII la puesta en cultivo de nuevas tierras sufre un importante aumento, favorecido por los buenos precios alcanzados por los cereales que es contrarrestado por la pérdida de tierras de cultivo en la mitad del siglo XIX debido a la esquilmación de las mismas. Desde 1945 el número de hectáreas cultivadas, que seguía hasta entonces una tendencia de expansión, se estabiliza o incluso decae. En contrapartida aumenta la producción agrícola debido a una mayor productividad de la tierra (empleo de fertilizantes, nuevas variedades agrícolas o el control de las plagas) y del trabajo (especialmente por el uso generalizado del tractor a partir de 1950). El declive de la superficie ocupada por tierras de cultivo va acompañado desde la mitad de siglo por una política de repoblación forestal y protección de espacios naturales que hace que aumente la superficie ocupada por bosques y pastizales.

VARIACION OCUPACION DEL SUELO 1700-1980



OCUPACION DEL SUELO EN EUROPA 1700-1980



FUENTE: Turner (1990)

Fig. 2.4

Esta breve descripción de la historia de los cambios en la ocupación del suelo nos puede conducir a determinar las principales variables en las transformaciones inducidas por la actividad humana (GOUDIE, 1981; STERN, 1992).

Una variable fundamental es la demográfica, la evolución de la población. Los cambios que se observan en la figura 2.2 con respecto al incremento de la superficie cultivada en América y Oceanía son debidos, en gran medida, al trasvase de población del Viejo al Nuevo Mundo y la presión sobre los recursos naturales que ésto trajo consigo.

Unido a la población aparece la urbanización. La expansión de las ciudades crea una serie de tensiones en el espacio colindante, convirtiéndole en suministrador de recursos. Las infraestructuras de conexión entre las diferentes ciudades son también un importante motor de las transformaciones.

Pero tampoco hay que olvidar las propias aspiraciones y la estructura de la población como agente transformador. La posibilidad de disponer de automóvil, la utilización de leña como principal fuente de energía o la aspiración de poseer una segunda residencia son ejemplos de los diferentes modos de vida que pueden tener una incidencia distinta sobre el territorio.

Las propias transformaciones de una sociedad en su conjunto tienen una clara incidencia sobre la ocupación del suelo, así como las disposiciones internacionales (la conservación de espacios a nivel internacional, las inversiones por parte de organismos internacionales en proyectos con fuerte impacto ambiental, etc.).

En nuestra sociedad occidental los cambios en la ocupación del suelo giran en torno a tres aspectos básicos (CHAMPION, 1983): el territorio como productor de recursos; como espacio de ocio y como espacio a proteger y conservar. Junto a la intensificación de las actividades primarias aparece una nueva actitud hacia los espacios naturales. Estos son vistos como lugares de ocio y protección, que son disfrutados debido a una mayor movilidad de la población, una mejor calidad de vida, el deseo del contacto con la Naturaleza y una mejora de la propia calidad ambiental. De esta forma, surgen conflictos entre el espacio como suministrador de recursos (agricultura frente al crecimiento urbano y sus externalidades) o como lugar de ocio y protección (la conservación de los espacios naturales frente a la explotación de sus recursos).

Esta dualidad puede ejemplificarse en dos procesos: por un lado el cambio en la agricultura y, por otro, la expansión urbana.

En los espacios rurales se está produciendo un doble proceso de intensificación y extensificación (BROWER et al., 1991; SABATÉ MARTÍNEZ et al., 1991). Por un lado, las subvenciones a los precios agrarios y, fundamentalmente, los logros tecnológicos permitieron en la Europa comunitaria un rápido incremento de los rendimientos agrícolas en las últimas décadas. Este estímulo a la producción se reflejó en un aumento de los excedentes agrícolas con las repercusiones ambientales que esto trae consigo (HARLEM BRUNDTLAND, 1989): intensificación de la producción en áreas muy localizadas, empobrecimiento del suelo por sobreexplotación, erosión, excesivo consumo de agua o contaminación de los acuíferos. En muchos casos estas áreas llegan al límite en su rendimiento por esquilma del suelo o por la incapacidad de los ciclos naturales de seguir suministrando agua, sumándose a una dinámica de extensificación.

Por otro lado, las áreas con adversas condiciones físicas, especialmente en países mediterráneos, sufren un progresivo abandono con un proceso de "matorralización", o abandono de cultivos y su recolonización por la vegetación natural, evolución que presumiblemente se agravará con las nuevas normativas de la Política Agrícola Común (PAC) de la CE referentes a superficies de cultivos herbáceos y permanentes, las cuotas de leche o la previsible retirada de los apoyos a los precios agrarios como exige el comercio internacional.

La expansión urbana actúa sobre espacios marginales (en su concepción social desarrollada más arriba). Estos espacios marginales se comportan como suministradores de recursos (materias primas para la construcción, agua) y depósito de externalidades no deseadas (residuos). La expansión urbana va unida a fuertes procesos de degradación: construcción de infraestructuras de conexión, deterioro por las actividades extractivas o energéticas que conlleva, contaminación industrial y generación de residuos o degradación a causa de actividades consideradas "urbanas" como el turismo o las actividades deportivas (MANNION, 1991).

2.4 La escala espacio-temporal en los procesos de cambio

Al estudiar un determinado proceso de degradación ambiental hemos de tener en cuenta tanto la frecuencia del cambio como los problemas que se derivan de la escala que presentan esas divergencias.

Los cambios ambientales pueden manifestarse de forma instantánea y tener unos

efectos inmediatos, como puede ser el caso de los desastres naturales, pero también pueden presentar una génesis mucho más dilatada en el tiempo y dejar patentes sus efectos de una forma más prolongada.

Estos efectos pueden tener una repercusión espacial diferente ya se trate de fenómenos que afecten a una decena de km² (efectos locales) o afecten a la geosfera en su conjunto y presenten una escala global.

El cruce de la escala temporal y la espacial determina procesos homogéneos en el espacio y en el tiempo (Fig. 2.5). La degradación del suelo (la contaminación por pesticidas de un acuífero, por ejemplo) puede ser, en principio, un proceso rápido y con una escala de impacto local. Dentro de esta misma escala local, pero con una mayor influencia temporal, podemos ubicar el almacenamiento de los residuos domésticos, los efectos ambientales de las guerras o cambios en el paisaje como la urbanización o la implantación de instalaciones de extracción minera. La erosión del suelo y la pérdida de bosques presenta una escala de local a regional con una escala temporal de décadas a siglos. A una escala espacial mayor podemos observar procesos como la desertificación de áreas como el Sahel africano. Finalmente, tenemos procesos como la polución atmosférica o los residuos radiactivos, con unos efectos globales y una enorme persistencia en el tiempo.

La frecuencia o escala temporal en los procesos de degradación determina la elección de los diferentes aniversarios, o fechas de referencia, a analizar. Evidentemente, no pueden ser iguales los cortes temporales al trabajar sobre la destrucción del bosque tropical que si planteamos, por ejemplo, las variaciones de caudal anual en un río y sus consecuencias.

La diferente incidencia de los procesos de cambio y degradación en el espacio determina la elección de una escala de trabajo u otra. Si queremos estudiar la repercusión de la extracción de áridos en el valle de un río debemos trabajar a una escala local; la evolución del agujero de la capa de ozono sobre la Tierra nos obliga a realizar un análisis a escala global.

La escala espacio-temporal de los procesos determina la elección de una técnica u otra de análisis. Los procesos de degradación del suelo pueden ser analizados en el laboratorio o con trabajo de campo; la deforestación que sufre el planeta debemos abordarla con instrumentos que aprehendan toda la geosfera.

Los cambios en la ocupación del suelo tendremos que estudiarlos, de esta forma, a una

ESCALA ESPACIO-TEMPORAL EN LOS PROCESOS DE DEGRADACION

ESCALA ESPACIAL	GLOBAL			POLUCION ATMOSFERICA	RESIDUOS RADIATIVOS	
	REGIONAL			DESERTIFICACION		
	LOCAL	DEGRADACION DEL SUELO	GUERRA CAMBIO DEL PAISAJE RESIDUOS DOMESTICOS	DEFORESTACION EROSION DEL SUELO		
		SEGUNDO	AÑO	DECADA	SIGLO	MILES DE AÑOS
						ESCALA TEMPORAL

Fig. 2.5

escala local-regional (los cambios de la Tierra en su conjunto entrarían en otro apartado que podríamos denominar cambio global) y con documentos que nos permitieran observarlos a una escala de año-s a década-s.

2.5 El control de los cambios en la ocupación del suelo

La primera cuestión que se plantea al estudiar la evolución de la ocupación del suelo es cómo desglosar este concepto en unidades discretas o cómo realizar una taxonomía.

Las clasificaciones de la ocupación del suelo se realizan teniendo en cuenta tanto la fuente de obtención de la información como la escala de trabajo.

La figura 2.6 presenta la clasificación del proyecto **CORINE-land cover** de la Comunidad Europea. Se trata de un tipo de clasificaciones jerárquicas, realizadas para su uso en teledetección y a una escala continental e influenciadas por la clasificación del *U.S. Geological Survey* (SPELLEBERG, 1991). La nomenclatura del proyecto Corine está elaborada atendiendo no a las actividades humanas, a los usos del suelo, sino a la ocupación del territorio, a las características de las estructuras urbanas, los espacios naturales y las superficies de agua. Presenta una estructura en tres niveles (hasta cinco en la clasificación española de este mismo programa) y divide la superficie terrestre entre espacios artificiales estructurados por edificios, vías de comunicación o áreas de extracción minera y de depósito de residuos, áreas cultivadas, espacios naturales (pastizales, matorrales y bosques), humedales y superficies de agua.

Además de establecer una clasificación adecuada es necesario en el control del cambio ambiental la elección de un método de detección de los cambios y de administración y representación de los mismos. En la época de la revolución de la tecnología de la información disponemos de dos herramientas claves en la visualización y la interpretación de los procesos ambientales: la teledetección y los sistemas de información geográfica.

La figura 2.7 representa la resolución temporal (el período de recurrencia) de diversos satélites, desde los 30 minutos en que el satélite meteorológico METEOSAT toma una imagen hasta los 152 días en los que el satélite SEASAT pasaba por un mismo lugar.

-
1. Superficies artificiales
 - 1.1. Zonas urbanas
 - 1.2. Zonas industriales, comerciales y de transportes
 - 1.3. Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción
 - 1.4. Zonas verdes y espacios de recreo
 2. Zonas agrícolas
 - 1.1. Tierras de labor
 - 2.2. Cultivos permanentes
 - 2.3. Praderas
 - 2.4. Zonas agrícolas heterogéneas
 3. Zonas forestales, con vegetación natural y espacios abiertos
 - 3.1. Bosques
 - 3.2. Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea
 - 3.3. Espacios abiertos con poca o sin vegetación
 4. Zonas húmedas
 - 4.1. Zonas húmedas continentales
 - 4.2. Zonas húmedas litorales
 5. Superficies de agua
 - 5.1. Aguas continentales
 - 5.2. Aguas marinas
-

Fig. 2.6: Nomenclatura del Proyecto CORINE-land cover.

Fuente: Corine Programme. Land Cover Project. Nomenclature, Bruselas, 1989.

SATÉLITE/SENSOR	RESOLUCIÓN TEMPORAL
METEOSAT (MSR)	30 m.
GMS (MSR)	3 h.
LANDSAT 5 (TM)	16 días
LANDSAT 1-4 (MSS)	18 días
SPOT (P/XS)	26 días
ERS1	35 días
SEASAT	152 días

Fig. 2.7.: Resolución temporal de diversos satélites.

Aunque, teóricamente, podemos disponer de una imagen en los tiempos indicados, en la realidad éste se alarga considerablemente por el procesado de los datos, a excepción de los satélites meteorológicos. Tomando como ejemplo el satélite Landsat, podríamos disponer aproximadamente, de una veintena de imágenes al año de un mismo lugar, número que se reduce considerablemente ante la mala calidad de muchas de ellas o la presencia de nubes en el área.

Así la teledetección es clave en diversos tipos de estudio sobre cambio ambiental (GURNEY, 1993): control de catástrofes ambientales (mareas negras, accidentes nucleares, inundaciones), dinámicas globales de la vegetación (mediante índices de vegetación global), desertificación, análisis globales del incremento de la población y la urbanización mediante imágenes nocturnas o estudios sobre la ocupación del suelo a escala regional y local.

Junto a la teledetección los SIG nos permiten almacenar la información obtenida, manipularla y realizar análisis sobre las divergencias ambientales y, finalmente, establecer estudios cuantitativos y representaciones cartográficas.

La teledetección (tanto fotografías aéreas como imágenes de satélite) junto con los SIG han sido la base de los diferentes estudios de gran envergadura realizados sobre cambio ambiental.

En la década de los años 30 Stam realizó un inventario de ocupación el suelo en Gran

Bretaña para el *Land Use Survey*, mediante trabajo de campo y voluntarios (SPELLEBERG, 1991).

Desde 1975 el *U.S. Geological Survey* (ANDERSON, 1977) realiza un inventario cartográfico a escala 1:250.000 utilizando tanto fotografías aéreas como imágenes de satélite.

Es también importante el proyecto DOE/CC, realizado para Inglaterra Y Gales (DEANE et al., 1987), también mediante fotointerpretación, con unos aniversarios entre 1947 y 1987.

También hay que mencionar aquí al **Canada Geographic Information Systems** (CGIS) y, más concretamente, el **Canada Land Use Monitoring Program** (THIE, 1987). En este último programa se analizan los cambios en la ocupación del suelo, se determinan las áreas de mayor cambio y se estudian las causas y consecuencias de esos cambios generando, finalmente, una base de datos ambiental.

Es el programa **CORINE-Land Cover** de la CE el ejemplo paradigmático en la cuantificación y evaluación de cambios en la ocupación del suelo en la Europa comunitaria (MOPU, 1990; SABATÉ et al., 1991). Este programa, denominado en nuestro país "Mapa de Ocupación del Suelo de España", forma parte del proyecto CORINE, encaminado a crear un sistema de información ambiental (erosión, contaminación atmosférica, biotopos, ocupación del suelo...) que sirva como herramienta en la gestión y en la toma de decisiones medioambientales por parte de la CE. El programa CORINE-Land Cover se ha concretado en la realización de mapas de ocupación del suelo, de algunos países comunitarios, del este de Europa y de Marruecos, a escala 1:100.000 utilizando imágenes de satélite Landsat 5 (TM). Previsiblemente la información sobre ocupación del suelo se irá actualizando (inicialmente se pensó que cada cinco años) por lo que se convertirá en la más importante fuente de información sobre cambios a esa escala.

Para terminar nos referiremos a programas de carácter global que pretenden generar y gestionar datos sobre el cambio ambiental en el planeta Tierra (CHUVIECO SALINERO, 1992). Entre estos destaca el **International Geosphere Biosphere Program**, dedicado, desde 1986, a analizar la composición química de la atmósfera, los cambios en los ecosistemas terrestres y el ciclo hidrológico.

3 TIEMPO, ESPACIO Y ESPACIO-TIEMPO

Estábamos tan bien todos juntos, tan bien, que algo extraordinario tenía que suceder. Bastó que en cierto momento ella dijese: -¡Muchachos, si tuviera un poco de espacio, cómo me gustaría amasarles unos tallarines!- y en aquel momento todos pensamos en el espacio que hubiera ocupado la harina, y en el trigo para hacer la harina, y los campos para cultivar el trigo, y las montañas de las que bajaba el agua para regar los campos; en el espacio que sería necesario para que el sol llegara con sus rayos a madurar el trigo; y en el mismo momento de pensarlo ese espacio infatigablemente se formaba, el punto que la contenía a ella y a todos nosotros se expandía. Ella, la que en nuestro cerrado mundo mezquino había sido capaz de un impulso generoso, dando comienzo a la vez al concepto de espacio y al espacio propiamente dicho, y al tiempo, haciendo posibles millones de soles, y de planetas, y de campos de trigo.

Italo Calvino

3 TIEMPO, ESPACIO Y ESPACIO-TIEMPO

Entre el capítulo anterior, *2 Cambio y Degradación Ambiental*, y el capítulo siguiente, *4 Sistemas de Información Geográfica Temporal*, aparece intercalado este en el que nos encontramos ahora y que pretende poner en relación los dos temas: el cambio (la forma que tenemos de percibir el tiempo) y el estudio de éste mediante herramientas que manejen esta dimensión.

En primer lugar, se establecen algunas ideas escogidas acerca del tiempo y la geografía para hablar después sobre el espacio-tiempo, el tiempo cartográfico y sus concepciones y la topología temporal.

3.1 Tiempo y geografía

Las relaciones entre el espacio y el tiempo están presentes en geografía desde los orígenes de esta disciplina como ciencia, coincidiendo con las teorías de Darwin sobre la evolución de las especies o las de Hutton y Lyell en geología, que aportan una visión de cambio de la Tierra frente a las ideas estáticas anteriores. A partir de entonces el tiempo ha sido un tema fundamental en geografía abordándose desde explicaciones genéticas o causales o desde una perspectiva funcional o ecológica (HARVEY, 1983).

3.1.1 Geografía genética y geografía del presente

RITTER (1850) destaca la importancia de la perspectiva histórica en geografía:

"En los encadenamientos de causa a efecto que la Naturaleza y la Historia nos muestran se puede prever, puesto que el planeta parece tener una vocación más noble revelada por la continuidad histórica, una organización superior y que por lo demás no sería de naturaleza puramente física"

DAVIS (1899) introduce, asimismo, las explicaciones de tipo genético en geomorfología (conocer el sentido y el origen de las formas), señalando el concepto temporal de ciclo:

"Todas las variadas formas del terreno dependen de tres variables, que se pueden denominar estructura, proceso y tiempo"

Estas ideas llegan hasta mucho tiempo después, aunque con nombres diferentes (SAUER, 1931).

"La geografía cultural implica, por tanto, un programa que está unificado con el objetivo general de la geografía. Su método es evolutivo, específicamente histórico hasta donde lo permite la documentación, y, por consiguiente, trata de determinar la sucesión de culturas que han tenido lugar en un área."

Podemos volver a una geografía genética con las ideas de la nueva geografía regional que señala que la especificidad de las regiones es el resultado de su devenir a lo largo del tiempo (GILBERT, 1988). Para la geografía regional clásica la geografía era una ciencia del presente que iluminaba el pasado; para la nueva geografía regional la geografía es una ciencia del futuro que se apoya en el pasado.

Frente a estas explicaciones genéticas en geografía podemos enfrentar otra explicación funcional o ecológica, basada en las interrelaciones del presente. HETTNER (1905) explica de esta forma el estudio de los procesos en geografía:

"La geografía, como estudio del presente, ha sido a veces enfrentada a la geología, como estudio del pasado; pero esa opción es incorrecta, porque en teoría puede darse una consideración geográfica tanto en períodos pasados como del presente, aunque raramente la llevemos a cabo. La verdadera diferencia no consiste en que la geografía prefiera un tiempo determinado, el presente, sino en que para ella el tiempo se sitúa en el fondo de la escena, ya que no estudia el paso del tiempo como tal, sino que solo tiene en cuenta el desarrollo histórico con el fin de explicar las condiciones del momento elegido."

De esta forma llegamos hasta la Teoría General de Sistemas que desarrolla una teoría completa sobre el tiempo, aplicada frecuentemente en geografía. El modelo procesal (HARVEY, 1983) dice que siendo $S = (X_1, X_2 \dots X_n)$ la descripción de un sistema determinado y $S^t = (X^{t1}, X^{t2} \dots X^{tn})$ el estado del sistema en el tiempo, si conocemos S y S^{t1} es posible predecir S^{tn} o, a la inversa, conociendo el último aniversario elegido podemos determinar el anterior.

Esta nueva concepción de *proceso* considera que los *eventos* (la ocurrencia de un hecho determinado) forman *episodios*; una cadena de eventos determina una *secuencia*; un círculo cerrado de eventos crea un *ciclo* que cuando no cierra inmediatamente una secuencia

determina una *recurrencia* (PARKES y THRIFT, 1980). A estas nociones se le añaden otras definiciones sistémicas aplicadas en geografía, fundamentalmente, a procesos naturales: relaciones entre las fases de un ciclo, tiempo de recurrencia o pulso, oscilación, fluctuación, cadencia, ritmo, amplitud, etc. o a modelos probabilísticos (podemos destacar las Cadenas de Markov).

El modelo procesal es la cumbre de las explicaciones temporales que comenzaron con las ideas evolucionistas de los científicos de los siglos XVIII y XIX y que HARVEY (1989) enmarca dentro del proyecto ilustrado. El tiempo se sistematiza en esta etapa, que aún no está cerrada, pudiéndose comparar el modelo procesal con el calendario o el cronómetro (dos hitos en la concepción y la medida del tiempo): un hecho lineal como es el tiempo se homogeniza en unidades discretas que pueden ser medidas, agrupadas o descritas según nuestras convenciones.

3.1.2 La geografía del Tiempo

Cada individuo experimenta y percibe el tiempo de una forma particular y, por tanto, el geógrafo que utiliza el resultado de las decisiones humanas ha de tener en cuenta la percepción individual del tiempo, generalmente dependiente de su entorno social y cultural, y la utilización por los individuos del espacio en relación al tiempo, todas ellas ideas extraídas y enfocada desde posiciones humanistas y realistas.

La Geografía del Tiempo, creada y desarrollada por Hägerstrand y la Escuela de Lünd (DÍAZ MUÑOZ, 1991; THRIFT, 1977), determina dos conceptos básicos en las relaciones entre los individuos y el espacio y el tiempo.

La primera es el *camino* o la *ruta*: cada una de las acciones de un individuo a lo largo de su vida presenta tanto elementos espaciales como temporales. La biografía de una persona o un colectivo puede ser conceptualizada como una ruta continua en el espacio-tiempo.

La segunda es el *proyecto*: cada individuo o cada grupo de individuos o cada institución lleva a cabo sus actividades conforme a un fin, tienen un proyecto que materializar en el espacio y en el tiempo.

La Geografía del Tiempo, siguiendo estos conceptos básicos, se plantea el estudio de diversos temas como la difusión de innovaciones o el análisis de migraciones, pioneros desde las obras de Hägerstrand en los años cincuenta. Posteriormente, aparecerán estudios sobre riesgos naturales, diferencias en el uso de los recursos motivados por condicionamientos

culturales, estudios de vida cotidiana o el análisis de diferentes percepciones subjetivas del espacio y el tiempo.

Aquí vamos a hacer referencia, dentro de este tipo de estudios, a la cartografía del tiempo, la percepción del cambio y, enlazando con teorías estructuralistas, la noción de tiempo dentro de la evolución de los lugares.

La Geografía del Tiempo determina un lenguaje gráfico (DÍAZ MUÑOZ, 1992) en el que destacan sus cubos espacio-temporales o "peceras". El espacio se reduce a dos dimensiones, representándose en una tercera perpendicular al tiempo. De esta forma se localizan en el espacio y en el tiempo las actividades de los individuos y grupos sociales.

El humanismo también se interesa por la percepción de los individuos acerca de los cambios en el paisaje (BUENO, 1992). Así, se habla de los signos como significados asociados al territorio que cuando son reconocidos por un individuo se convierten en *congniciones*; de la *intensidad* o el grado o sentido cualitativo de los cambios; la *amplitud*, el sentido cuantitativo de las divergencias y el *ritmo* o la *cadencia* de los cambios (la percepción que de los cambios tenemos dependiendo de la velocidad de su ocurrencia).

La unión de la Geografía del Tiempo y la teoría de la estructuración deviene en el concepto de lugar y región dinámica, en el que el tiempo es el concepto clave. Según PRED (1984) los lugares, o las regiones, son fruto de un proceso históricamente causal, la transformación del espacio es inseparable de la reproducción y la transformación de la sociedad en el tiempo. Los lugares se transforman a lo largo del tiempo debido a las interacciones entre los agentes (la intersección de las rutas individuales y los proyectos institucionales), la estructura (la reproducción y transformación de las relaciones de poder), los géneros de vida y la reproducción social y las biografías y la socialización individuales.

3.1.3 Tiempo y ambientalismo

Otra vertiente de los estudios sobre espacio, procesos y dimensión temporal arranca del ambientalismo de los años setenta y principios de los ochenta, recogiendo de nuevo estas ideas a finales de los ochenta ante la nueva crisis ecológica y la idea de cambio global (WATTS, 1989): toma de conciencia de nuevas tendencias mundiales catastrofistas - destrucción de la capa de ozono, cambio climático-; crisis ecológica en el Tercer Mundo y aparición de tecnologías y sustancias nuevas más agresivas con el medio ambiente.

KATES (1987) señala las cuestiones fundamentales de la tradición sobre medio ambiente en geografía derivadas de una interrogante central:

¿Cuáles son y cuales deberían ser nuestras relaciones con el medio ambiente?:

-¿Son suficientes los recursos para la población del mundo?.

-¿Cómo conseguir un desarrollo sostenible de la Biosfera?.

-¿Cuánto hemos transformado la Tierra?.

La última interrogante es clave en nuestro análisis del tiempo. Ante la nueva conciencia de cambio, especialmente de cambio global, es necesario analizar y cuantificar las transformaciones que introduce el hombre en el sistema terrestre.

Los estudios se centran, fundamentalmente, en el control e inventario del medio ambiente y la cuantificación de la transformación de la Tierra, entroncando con los estudios de geografía histórica y de arqueología del paisaje (BOLOS i CAPDEVILA, 1992; BUTLIN, 1993).

Dentro de este tipo de análisis se encuadra la utilización de nuevas tecnologías como la teledetección (la detección de los cambios mediante fotografías aéreas e imágenes de satélite) y los sistemas de información geográfica (el manejo de información temporal) y, enlazando con la geografía del tiempo, nuevas formas de representar el tiempo en su relación con el espacio mediante mapas que reflejen la dimensión temporal (sucesiones de mapas, composiciones espacio-temporales, animaciones visuales, sistemas multimedia, etc.).

Al mismo tiempo, y dentro de estas ideas ambientalistas, surge la noción de "solidaridad temporal", al considerarse la Tierra como una herencia que hemos recibido y que debemos entregar a nuestros descendientes. Esta idea ya estaba presente en los geógrafos humanistas de la década de los setenta. LOWENTHALL (1975) une la idea de nostalgia al concepto de paisaje: nostalgia tanto por los lugares presentes como por los pasados. Necesitamos el pasado, en muchos casos para compararlo con el presente, especialmente en momentos de crisis.

PARKES Y THRIFT (1980) hablan, siguiendo con este tema, de la idea de preservación, de la conservación de las huellas del tiempo en el paisaje. Quizás esta sea la idea del **Domesday Project**, proyecto basado en microcomputadores y disco óptico, que se

compone de unos 21.000 archivos, tanto en forma de mapas convencionales, como fotografías, imágenes de satélite, textos y cuadros (ARONOFF, 1989).

3.2 El tiempo y los mapas: construyendo el tiempo cartográfico

El establecimiento de las relaciones entre el tiempo y la cartografía puede comenzar con las ideas de HARLEY (1989) sobre lo que suponen y han supuesto los mapas.

Los mapas, según Harley, pueden ser considerados como textos gráficos, una forma de construcción en la que se emplea un sistema convencional de signos. Al ser un texto, el mapa puede ser confeccionado e interpretado de diferentes formas, dependiendo del contexto en el que se encuentre el cartógrafo y el intérprete: el mapa es un texto cultural. Por tanto, el contexto social es determinante en la construcción de un mapa. Integrante significativa del contexto social es la propia ciencia cartográfica, que considera a los mapas como formas de creación objetivas: el objeto de los mapas es producir un correcto modelo relacional del terreno ya que los objetos a cartografiar son reales y objetivos y tienen una existencia independiente del cartógrafo. Esta ciencia cartográfica, en consecuencia, crea modelos estándares de mapas "científicos" o "verdaderos" y las construcciones que se apartan del discurso establecido son consideradas como "propaganda" o mapas "artísticos".

Un buen ejemplo de este proceso de acomodación a "lo científico" lo constituyen las imágenes de satélite (como muestra ver la serie de Ortoimágenes Espaciales del I.G.N. o las del Institut Cartogràfic de Catalunya o la Agencia de Medio Ambiente de Andalucía). Estas imágenes usan una retórica (unas formas de comunicación) con las que pretenden acomodarse a los "mapas científicos" como es la explicación del proceso de elaboración del mapa como afirmación de autoridad. Aún así, estas formas, en la mayoría de los casos, no son consideradas mapas ("ortoimágenes espaciales"), aunque no presentan uno de los mayores vicios de la cartografía convencional: la jerarquía. En una imagen de satélite todos los elementos de la superficie terrestre son tratados igual, con la sola limitación de la resolución espacial y espectral; en un mapa convencional aparecen sólo los elementos que el cartógrafo considera más relevantes y, generalmente, en un orden jerárquico:

"Madrid ha sido visto de muchas formas, pero hay una reciente que se me antoja especialmente significativa: me refiero a ese plano de la ciudad en el que el cinturón de autopistas figura como el rasgo cartográfico más relevante..."

(FERNÁNDEZ GALIANO, L.:
"Almendra con guirnalda", *El País*, 9-XII-1992).

Continuando con el discurso cartográfico imperante, los mapas sólo pueden reflejar la dimensión espacial de la realidad, quedándose la representación de la dimensión temporal relegada a las configuraciones "artísticas". La aceptación de que el tiempo es una dimensión a representar mediante mapas se basa, de esta forma, en la construcción de un discurso temporal que sea compatible con el espacial, tarea a la que se dedican diversos autores (LANGRAN, 1992; LANGRAN Y CHRISMAN, 1988; MacEACHREN Y DiBIASI, 1991; MONMONIER, 1990; PALACIOS MORERA, 1992; PEREZ RUY-DIAZ, 1992, entre otros muchos), generalmente asociada a la elaboración de cartografía dentro de sistemas de información geográfica.

La construcción del tiempo cartográfico comienza, por consiguiente, con la determinación de las relaciones entre el espacio y el tiempo.

3.2.1 Espacio, tiempo y espacio-tiempo

El tiempo es un fenómeno que sólo puede ser percibido por sus efectos, denominados paso del tiempo o cambios.

Un *suceso*, un *evento*, un *ítem* o un *cambio* es algo que ocurre en un punto particular del espacio y en un momento determinado del tiempo. Una *secuencia* temporal sería una línea de eventos (PARKES Y THRIFT, 1980), es decir, una serie de puntos o sucesos infinitos que van desde el pasado hacia el futuro. También, los hechos geográficos tienen un comienzo y un fin y éstos pueden cambiar de identidad por la transformación de alguna de sus características (CEBRIÁN, 1992). Como ejemplo, el hecho geográfico que podemos denominar "erial" presenta un principio en el momento en el que se abandona su uso anterior y un final, cuando ha cambiado su característica fundamental ("uso del suelo") y ha pasado, por ejemplo, a ser un espacio edificado.

El *espacio-tiempo* puede ser descrito como el conjunto de todos los lugares en un tiempo o de todos los acontecimientos actuales o posibles (FRIEDMAN, 1991). El espacio-tiempo es una variedad de dimensión cuatro, esto es, un punto cualquiera en el espacio-tiempo está representado por cuatro coordenadas: no sólo se encuentra referenciado en su situación norte-sur; este-oeste o su altura sobre el nivel del mar (x,y,z), sino también por su situación en el tiempo (t). Esta variedad diferenciable de dimensión cuatro presenta dos características (FRIEDMAN, 1991): tiene topología (un punto p del espacio-tiempo tiene un entorno, una serie de puntos próximos a p) y puede ser representado mediante coordenadas.

Ante la imposibilidad de representar, y ni tan siquiera de imaginar, una estructura tetradimensional, los diagramas espacio-temporales son bidimensionales.

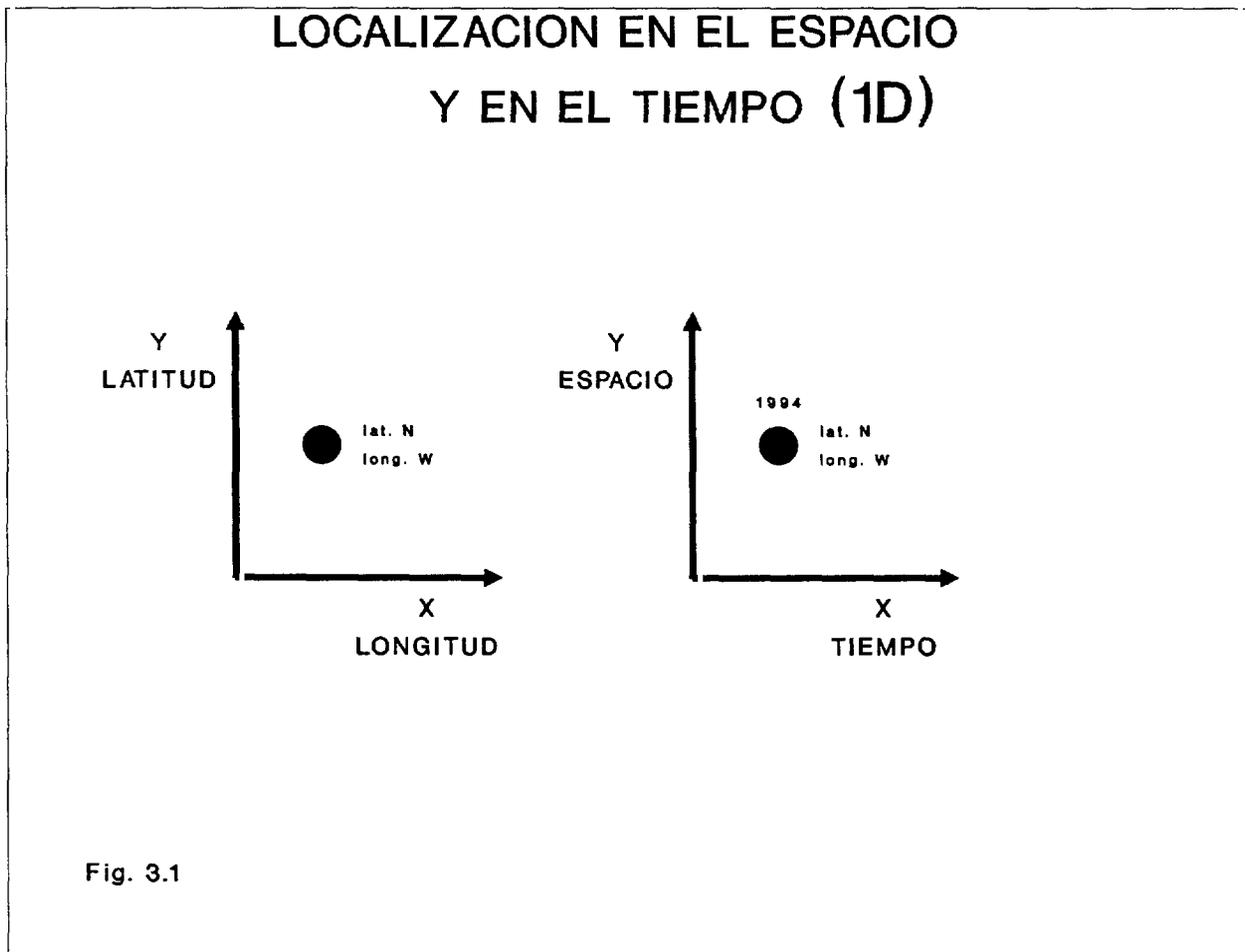
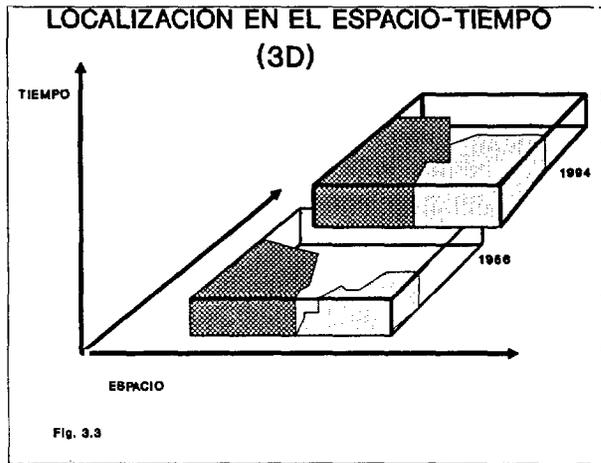
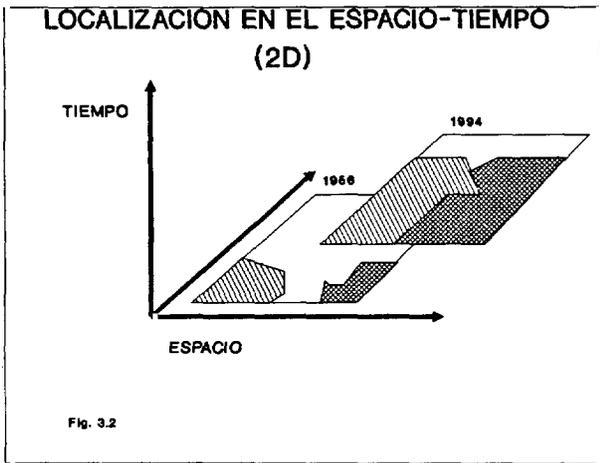
Podemos representar la localización de un punto en el espacio mediante un eje bivariado indicando su latitud y longitud (Fig 3.1). De esta forma estamos utilizando el lenguaje espacial de la latitud y la longitud, en el que se examina la distribución de los fenómenos espaciales y se analizan las relaciones entre ellos.

La localización de ese punto en el espacio-tiempo se representa, en el mismo diagrama, utilizando el eje horizontal para el espacio y el vertical para la dirección del tiempo. Ahora utilizamos un lenguaje espacio-temporal (HARVEY, 1983) en el que ubicamos tanto en el tiempo como en el espacio los objetos y los eventos. Como se puede apreciar el diagrama espacio-temporal sólo representa una coordenada espacial, creándose una sensación de bidimensionalidad mediante la inclusión de una segunda dimensión en perspectiva (Fig. 3.2).

Siguiendo este mismo esquema, se puede introducir la tercera dimensión espacial, la altura, representado en un eje un espacio en tres dimensiones (Fig. 3.3). Con la sucesión de diferentes bloques tridimensionales habremos creado la sensación de temporalidad, considerando a las entidades como una serie de puntos espacio-temporales (x,y,z,t) que varían constantemente tanto en el espacio como en el tiempo.

El espacio-tiempo cartográfico puede ser entendido en una concepción absoluta, heredera de la ideas de Newton, en la que los objetos presentan una ubicación temporal y espacial diferenciada y que, cuando un objeto cambia de posición, sólo cambia su estructura y no la relación con otros objetos. Por otro lado, podemos hablar de un tiempo relativo, desarrollado por la Relatividad Especial de Minkowsky y la Relatividad General de Einstein (ISARD, 1971), en el que el espacio y el tiempo son cualidades posicionales inherentes a cada hecho y cuando un hecho cambia genera procesos de cambio en los objetos relacionados con él.

PEUQUET (1994) habla de complementariedad y no de exclusión de ambas concepciones del tiempo. El tiempo considerado como algo absoluto actúa desde una visión objetiva en la que podamos realizar mediciones exactas. De esta forma podemos estudiar procesos en el pasado que podamos observar, interpretar, evaluar y verificar. El tiempo relativo presenta una visión subjetiva basada en el estudio de procesos, por lo que podemos hacer predicciones, prospectivas. Uniendo ambas concepciones podemos trabajar en el tiempo tanto en el pasado como en el futuro.



PARKES Y THIRFT (1980) establecen un vocabulario específico de las relaciones entre el espacio y el tiempo, teniendo en cuenta una visión subjetiva del tiempo basada en los procesos.

La *ruta* o el *camino* es la historia de un evento en el espacio-tiempo y describe la biografía de una *entidad* (el paso de un terreno de labor a pastizal, matorral y posteriormente a un área urbanizada, poniendo un ejemplo referido a la ocupación del suelo).

Si la distancia es la separación de dos puntos en el espacio, el *intervalo* es la separación de dos sucesos o eventos en el tiempo. Siguiendo el ejemplo anterior, el intervalo es el período que media entre el cambio de ocupación en las entidades señaladas antes.

Una *sucesión* consiste en que un evento ocurre después de otro, produciéndose una sustitución; un *proceso* es una secuencia de acontecimientos en el tiempo. LOWELL (1991) utiliza este concepto al desarrollar un SIG para la realización de un modelo de sucesión ecológica en un área de alto valor natural, ejemplificándose la sucesión como el cambio en la ocupación del suelo desde 1939 a 1982.

Cuando se produce una continuidad en la dimensión temporal se habla de *duración* o *permanencia* (un terreno de labor que continúa siendo tal, a pesar de que las parcelas contiguas han sido urbanizadas, siguiendo con el ejemplo anterior).

Finalmente, existe un llamado *tiempo de recurrencia* o período de retorno, entendido como la probabilidad de ocurrencia de un suceso.

3.2.2 Tiempo cartográfico

Aunque el tiempo no aparece reflejado intrínsecamente en los mapas, éstos, como todo texto, pueden ser leídos teniendo en cuenta su dimensión temporal.

WOOD Y FELS (1986) indican que el tiempo está presente siempre en los mapas porque éste es inseparable del espacio. Para estos mismos autores, los mapas retienen la característica de una dimensión oculta, una zona cartográfica sombría.

Todo mapa, al igual que una fotografía, refleja un estado concreto de un lugar particular en un tiempo determinado, por tanto los mapas tienen un tiempo cartográfico a modo de los tiempos verbales (Fig. 3.4).

Podemos referirnos a mapas que reflejan el pasado, aunque fueron concebidos en modo presente: "Mapa de la Provincia de Extremadura, Madrid, año 1798" (*Instituto Geográfico Nacional*, Madrid, 1990).

TIEMPO Y TIEMPO CARTOGRAFICO

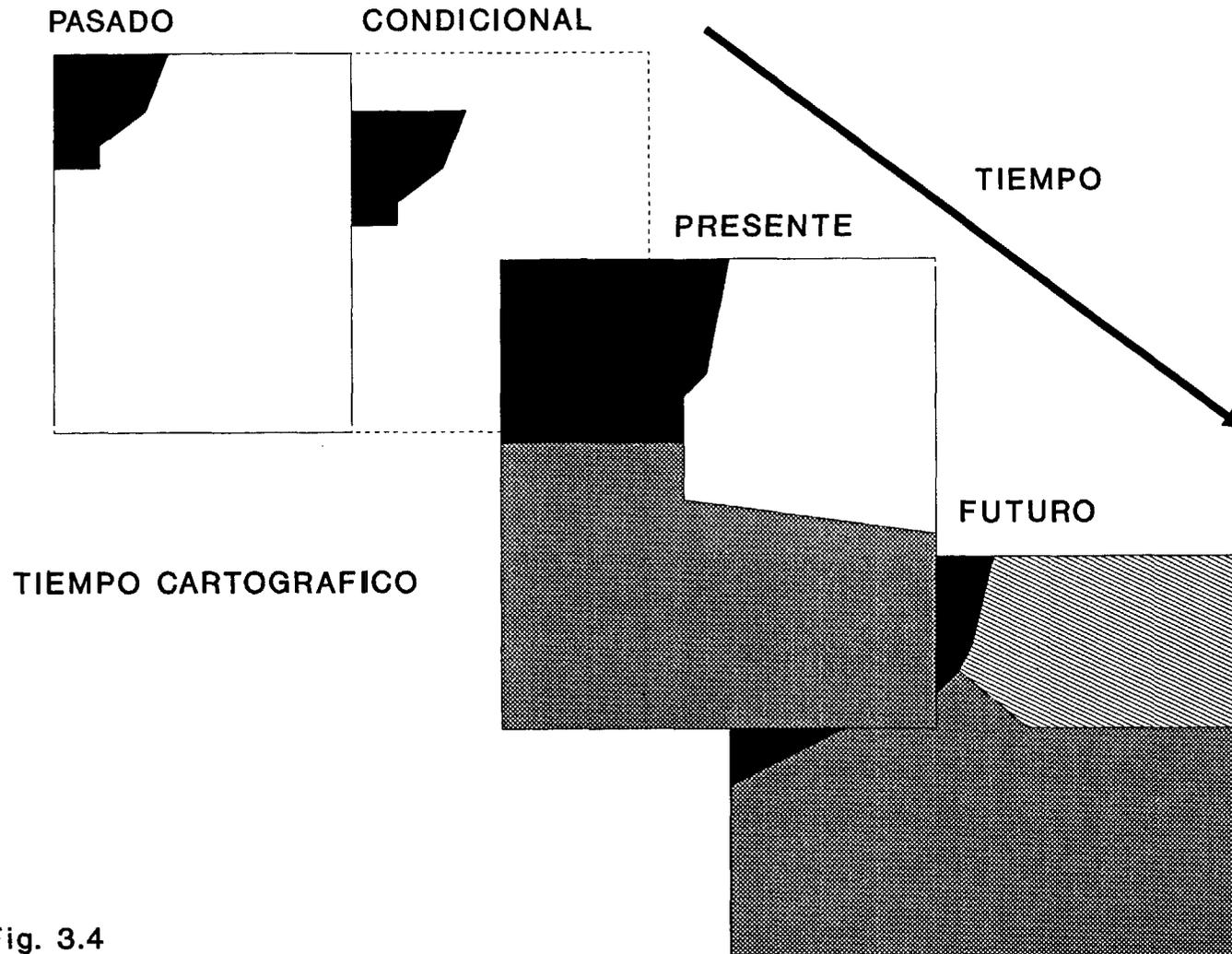


Fig. 3.4

También hay mapas en modo presente y, cómo no, mapas fantásticos (como los realizados por Tolkien para su Tierra Media, FONSTAD, 1993) o mapas futuros:

"¿Qué hago?. Estoy utilizando el ordenador para cartografiar Marte y mostrar como será ese planeta cuando nos ocupemos de él. Esta es la caldera del Monte Olimpo después de que actuemos allí. Así estaría si introdujésemos algunas cosechas, y también hay una vista desde la cima de la montaña si plantásemos pinos. En esta otra imagen se ve el efecto si pusiésemos un océano alrededor. Puedo pasarme toda una vida en el universo explorando Marte así, cambiando cualquier parámetro en el ordenador (la atmósfera, el color, lo que quiera..."

("Arthur Clarke: Marte es la próxima frontera", *El País*, 25-III-1992.)

A los objetos geográficos los podemos ubicar, de esta forma, en el *pasado* (objetos, situaciones o estados que han dejado de ser); en el *presente* (configuraciones espaciales que han sido en un pasado muy inmediato o dentro de un período temporal conforme a nuestras convenciones temporales); en el *futuro* (situaciones que podrán llegar a ser) o los podemos describir utilizando un *tiempo condicional* (¿qué hubiera ocurrido si...? o ¿qué ocurrirá si...?)

WOOD Y FELS (1986) hacen referencia a un segundo código temporal en los mapas. Este código actúa en el aspecto escalar del tiempo y, si la escala espacial es la relación entre el espacio del mapa y el espacio real, la *escala temporal* es la relación entre el tiempo del mapa y el tiempo real. Como ejemplo, podemos mostrar en un monitor una sucesión de imágenes de satélite de un mismo año que ilustren la transformación de un paisaje, desde las variaciones de un curso fluvial, los cambios en la vegetación o el crecimiento de las cosechas, en el intervalo de 1 minuto. Hemos comprimido 1 año en 1 minuto o, lo que es lo mismo, 1:525.600.

Por tanto, el tiempo o los eventos, al igual que el espacio, puede ser medido, subdividido y representado a escala.

3.2.3 Topología temporal

Para llegar a crear una cartografía espacio-temporal es necesario, además de determinar un vocabulario específico, indagar en las relaciones entre las entidades espacio-temporales que van a ser objeto de representación, crear una topología espacio-temporal.

La topología es una forma geométrica que trata de la conectividad entre los objetos (HARVEY, 1983). Esta conectividad topológica se refiere a relaciones espaciales, como su propio nombre indica, de lugares. La cartografía temporal deberá acomodarse a la espacial y tendrá que establecer una topología temporal equiparable, tanto para ser considerada como "científica" como para ser manipulada por procedimientos informáticos.

LANGRAN (1992) presenta una topología temporal paralela a una espacial. Siguiendo a PARKES Y THRIFT (1980) explica el tiempo dentro de la Teoría General de Sistemas. El tiempo es un sistema con una estructura en episodios, es decir una sucesión de mutaciones que transforman una versión en la siguiente (Fig. 3.5). En una hipotética línea que va desde el pasado al futuro se suceden una serie de estados de entidades determinadas (*versiones*) que son transformadas en otras por mutaciones. Si ponemos como ejemplo la urbanización de un área rural, en el tiempo 1 la entidad sería una tierra de labor (la versión 1); en la versión 2 la entidad se transformaría en un erial y en la versión 3 (tiempo 3) en un área urbanizada. El momento de abandono de la actividad agrícola o el período de construcción del espacio urbanizado pueden ser considerados como la mutación. En un gráfico lineal la mutación sería un punto 0-dimensional en el tiempo y en un mapa espacio-temporal una línea también 0-dimensional que separaría el terreno agrícola del tiempo 1 del erial del tiempo 2 y del espacio urbanizado del tiempo 3.

Ampliando estas ideas, y considerando el estado como equivalente temporal del mapa, un *estado* consistiría en la configuración espacial de objetos (representaciones de entidades, "lo real") en un momento determinado. De esta forma un estado pasa a otro mediante un *evento*, y los objetos que configuran esos estados (que se encuentran en una versión determinada) pasan de una versión a otra mediante una *mutación* (Fig. 3.6).

En esta figura tenemos dos estados (mapa temporal de un momento único) representando la ocupación del suelo de un área en dos tiempos diferentes. El estado 1 está compuesto de tres tipos de entidades u objetos ("cultivos en regadío", "gravera" y "curso de agua") dispuestos de una forma particular o, en lo que denominamos, la versión 1. En el estado 2 se ha producido una serie de eventos que han transformado el territorio: expansión de la gravera e instalación de un área industrial. Por tanto, la versión 1 también ha sido transformada, en este caso mediante lo que denominamos una mutación: la gravera de la versión 1 ha pasado a la gravera de la versión 2 mediante una expansión (o mutación) y un área de regadío en la versión 1 ha mutado a una zona industrial.

TOPOLOGIA TEMPORAL

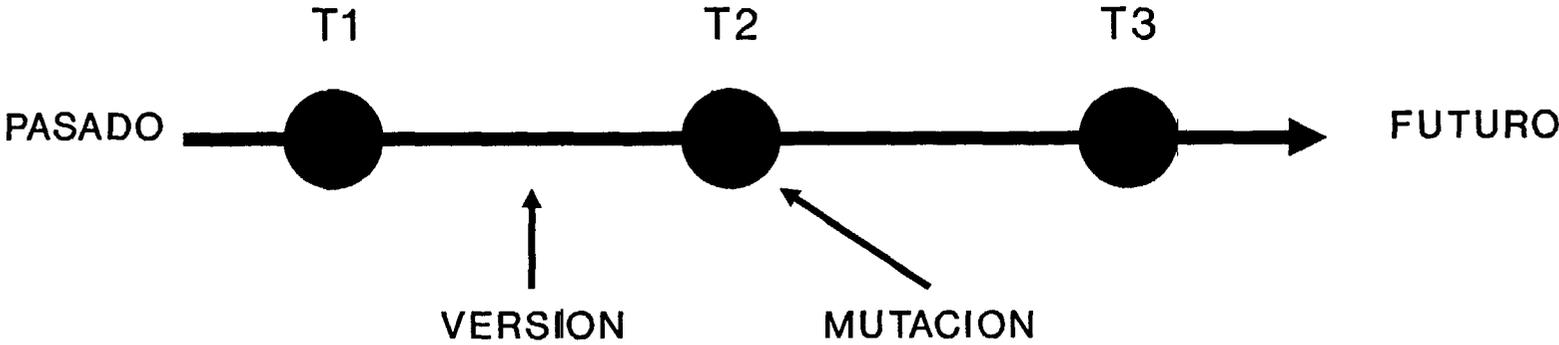
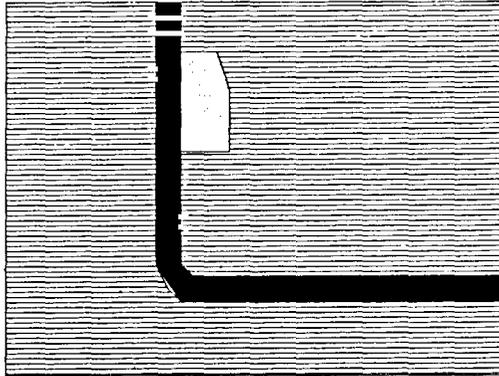


Fig. 3.5

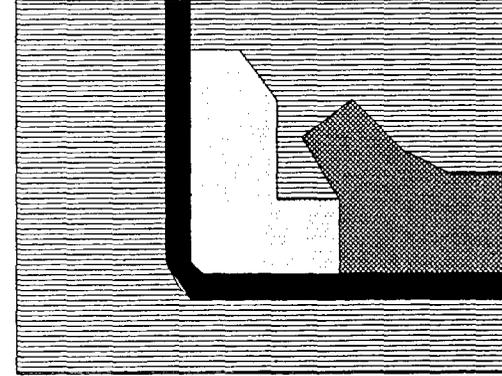
TOPOLOGIA TEMPORAL

ESTADO 1

ESTADO 2



(EVENTO)



VERSION 1



REGADIO



GRAVERA



CURSO DE AGUA

(MUTACION)

VERSION 2



REGADIO



GRAVERA



CURSO DE AGUA



INDUSTRIAL

Fig. 3.6

De esta forma, las entidades espacio-temporales se relacionan en los diferentes estados mediante eventos y, en las diferentes versiones, mediante mutaciones.

LANGRAN (1992) desarrolla los paralelismos entre la topología espacial (relaciones espaciales de los objetos en un mapa) y la temporal (relaciones de los objetos en un estado):

MAPA/ESTADO

(El espacio cartográfico se representa mediante mapas; el tiempo cartográfico mediante estados. Todo mapa, de forma intrínseca, representa un momento concreto del tiempo o un modo temporal).

LINEAS/EVENTOS

(En un mapa las diferentes configuraciones están separadas por líneas; en un estado por eventos -el paso de la situación en el tiempo 1 a la situación en el tiempo 2-).

OBJETOS ESPACIALES/VERSIONES

(Los objetos espaciales tienen su paralelo temporal en las versiones).

FRONTERAS/MUTACIONES

(Los objetos están separados en un mapa por fronteras; las versiones por mutaciones).

TESELAS/HORAS, DÍAS...

(En un mapa podemos establecer unidades regulares como son las teselas; en el tiempo cartográfico podemos establecer otras unidades regulares: horas, días, años, décadas...)

LONGITUD-ÁREA/DURACIÓN

(Los objetos espaciales se miden por su longitud o su área; las versiones por su duración).

LENGUAJE ESPACIAL/LENGUAJE ESPACIO-TEMPORAL

(La posición de un hecho geográfico en un mapa se establece por sus coordenadas - lenguaje espacial-; en un estado por su ubicación en el espacio-tiempo -lenguaje espacio-temporal-).

TOPOLOGÍA ESPACIAL/TOPOLOGÍA ESPACIO-TEMPORAL

(Un objeto se relaciona con los objetos adyacentes; una versión con las anteriores y con las que le han sucedido).

3.2.4 Las concepciones del tiempo cartográfico

El tiempo se ha representado de diferentes formas, comenzando por símbolos, continuando por gráficos y terminando por animaciones visuales mediante ordenador (MONMONIER, 1990).

Los símbolos empleados para representar el tiempo son bien conocidos: relojes, calendarios, horarios, etc.

Empleando gráficos temporales (ya sean de líneas o de barras) podemos representar el tiempo en un eje y un atributo en el otro (los climogramas son el ejemplo más clásico).

Además de gráficos bivariados temporales, podemos realizar gráficos temporales bidimensionales (la representación de un espacio en perspectiva y un atributo, como ejemplo, cuantificado mediante barras, cada una para una fecha determinada) e, incluso, tridimensionales (una representación, poniendo un ejemplo, de los 12 meses y diferentes años en los ejes X,Y y una variable como la lluvia, la temperatura o el caudal de un río en el eje Z).

Y, objeto de este apartado, también es posible representar el tiempo (el espacio-tiempo) mediante mapas convencionales. Para la confección de estos mapas hay que tener en cuenta cuatro concepciones diferentes del tiempo cartográfico (LANGRAN, 1992; LANGRAN Y CHRISMAN, 1988; MONMONIER, 1990): cubo espacio-temporal, secuencia de estados, variación de estados y composición espacio-temporal.

a) Cubos espacio-temporales

La primera de estas concepciones es la denominada cubos espacio-temporales (THRIFT, 1977). Se trata de una representación en forma de cubo, con una escala temporal,

en la que ilustramos los movimientos de individuos de un lugar a otro (el espacio representado por el cubo a modo de espacio real), como se ejemplifica en la figura 3.7.

Los cubos espacio-temporales pueden ser llevados a una sola dimensión mediante los llamados "mapas de bailes", porque recuerdan las instrucciones gráficas de los diferentes pasos de un baile (MONMONIER, 1990). Con esta concepción están elaborados los mapas que reflejan mediante símbolos, vectores o isolíneas el paso de un hecho de un lugar a otro.

b) Secuencia de estados

La segunda concepción del tiempo cartográfico es la denominada secuencia de estados (LANGRAN, 1992; LANGRAN Y CHRISMAN, 1988). De esta forma los mapas son considerados como estados independientes a modo de una partida de ajedrez, pudiéndose denominar esta concepción también como "mapa de ajedrez" (MONMONIER, 1990), en la que cada jugada representa un estado diferente.

Un ejemplo cartográfico puede ser el planteado en la Fig. 3.8 en la que aparece representada la degradación de la vega de un río, en este caso el valle del Jarama, nuestra zona de estudio, mediante la instalación de actividades extractivas e industriales. En el tiempo 1 aparece el estado inicial con tres versiones diferentes ("cultivos en regadío"; "gravera" y "curso de agua"). En el tiempo 2 una versión se ha expandido ("gravera") y aparece una nueva ("industrial") sobre una superficie de regadío. En el tercer estado de la secuencia (tiempo 3) únicamente se ha producido un evento, al ampliarse el área industrial.

El principal problema de esta concepción es que representa estados pero no representa los eventos que han propiciado el cambio de un estado en el siguiente (LANGRAN, 1992), además de la gran cantidad de datos a manipular cuando manejamos series temporales largas.

c) Variación de estados

La tercera concepción del tiempo cartográfico es la que podemos denominar variación de estados (Fig. 3.9). En esta concepción tenemos un estado inicial al que sólo se le añaden los eventos que se han producido, es decir, las entidades que han variado. En el ejemplo gráfico en los mapas correspondientes al tiempo 2 y al tiempo 3 sólo aparecen las transformaciones (la ampliación de la gravera y la instalación de un polígono industrial en el T_2 y la expansión de la industria en el T_3). De esta forma, reducimos de forma significativa la información a almacenar y, además, representamos los cambios y no solamente los estados (LANGRAN, 1992).

CONCEPCIONES DEL TIEMPO CARTOGRAFICO

CUBO ESPACIO-TEMPORAL

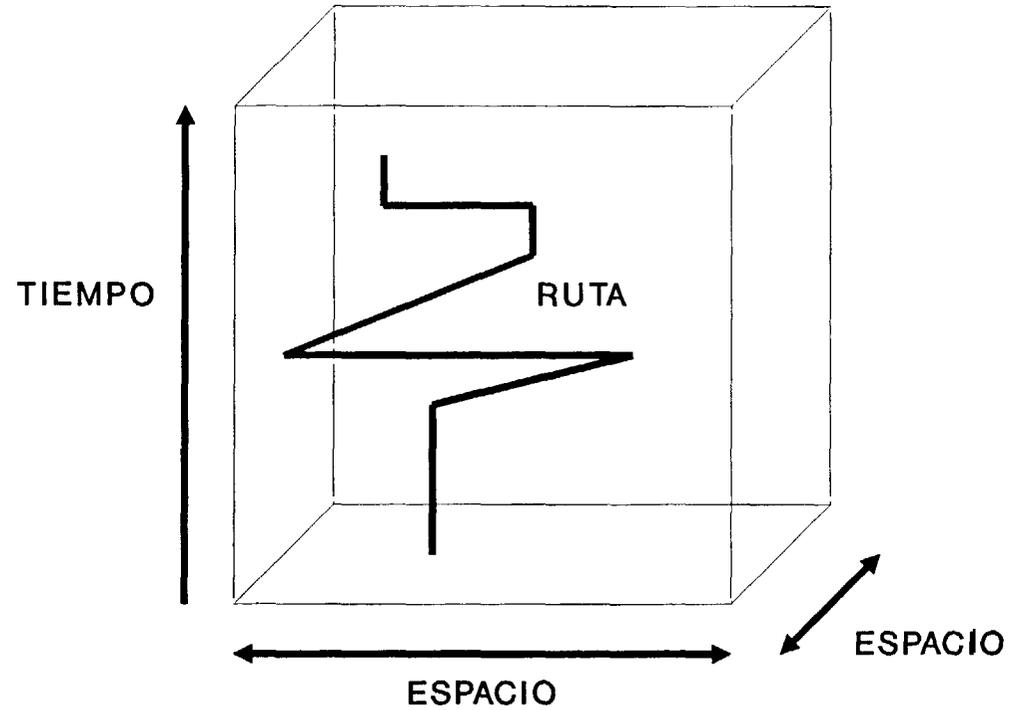


Fig. 3.7

CONCEPCIONES DEL TIEMPO CARTOGRAFICO

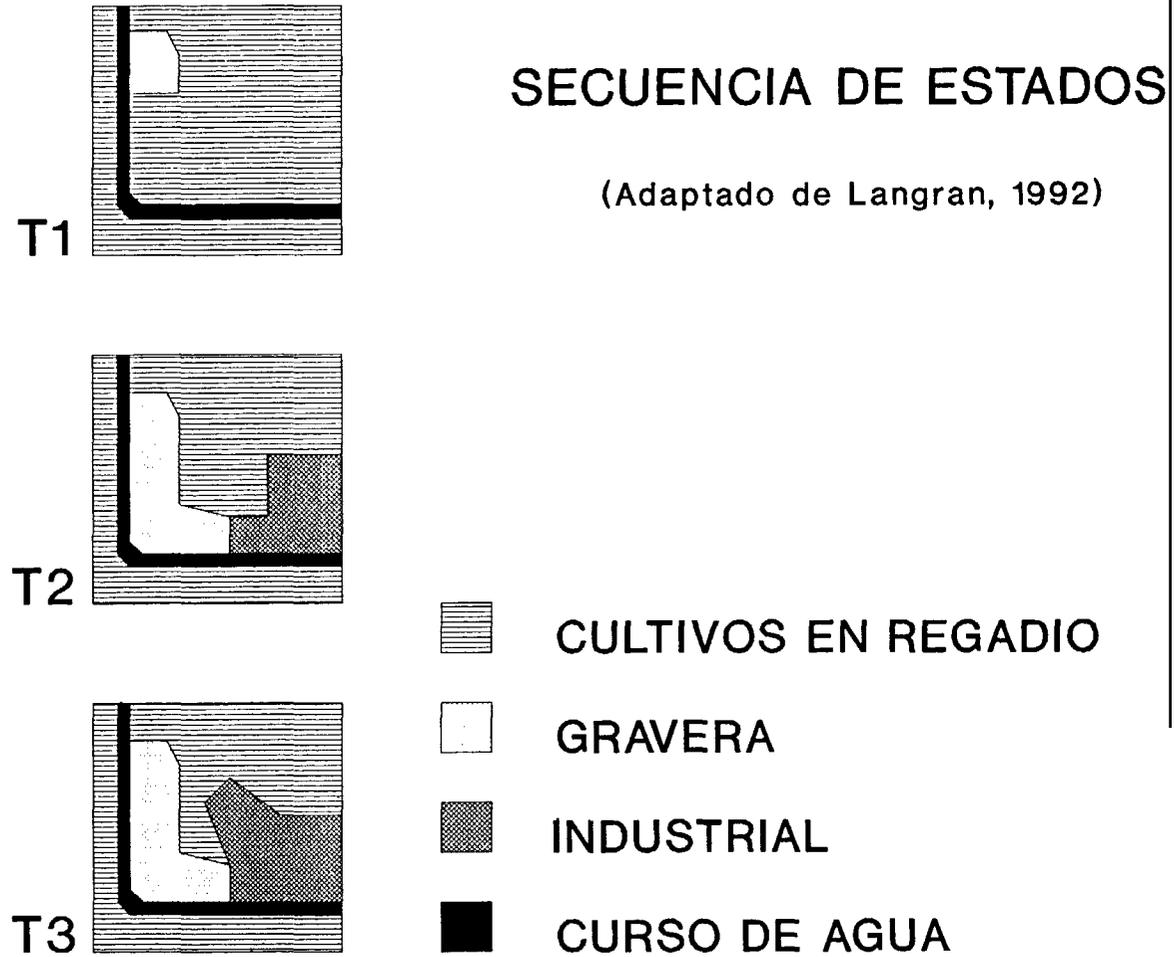


Fig. 3.8

CONCEPCIONES DEL TIEMPO CARTOGRAFICO

VARIACION DE ESTADOS

(Adaptado de Langran, 1992)



Fig. 3.9

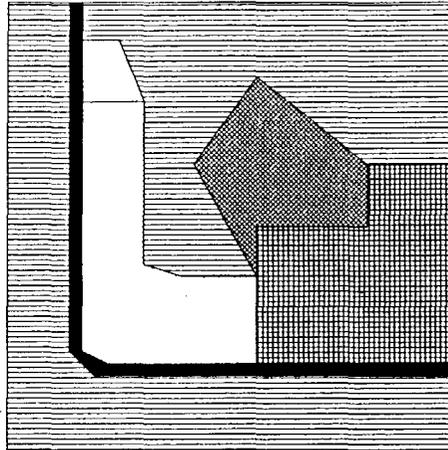
d) Composición espacio-temporal

La cuarta concepción es la denominada composición espacio-temporal (LANGRAN, 1992; LANGRAN Y CHRISMAN, 1988) o, simplemente, "mapa de cambio" (MONMONIER, 1990).

El mecanismo de este método (Fig. 3.10) consiste en un mapa-estado base en el que, para cada aniversario elegido, se superponen los cambios producidos (siguiendo la técnica de variación de estados). De esta forma obtenemos una composición de objetos discretos que "cuenta" una historia particular, mediante la inclusión de atributos que señalan las mutaciones producidas en las diferentes unidades. En el ejemplo de la figura 3.10 el mapa representa todos los eventos que se han producido (ampliación de la gravera; instalación y expansión del área industrial) y, mediante la tabla de atributos, podemos determinar la historia de cada uno de los objetos representados (la zona identificada mediante cuadros fue regadío en el tiempo 1 y 2 e industrial en el tiempo 3).

Este método presenta numerosas ventajas frente a los anteriores (LANGRAN, 1992) como el fácil acceso a la información y la posibilidad de seguir la ruta de cada objeto por separado a lo largo del tiempo. Como inconveniente hay que indicar que, en series temporales largas, fragmenta excesivamente la información generándose unidades muy pequeñas.

CONCEPCIONES DEL TIEMPO CARTOGRAFICO



COMPOSICION
ESPACIO-TEMPORAL
(Adaptado de Langran, 1992)

70

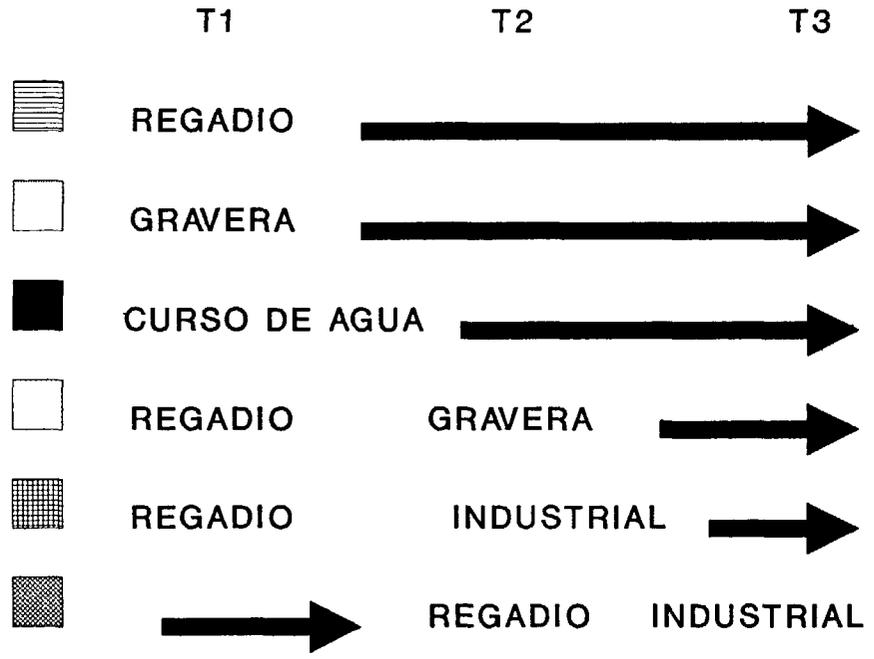


Fig. 3.10

4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TEMPORAL

"La interpretación de las configuraciones geográficas presentes requiere cierto conocimiento de su desarrollo histórico; en este caso, la historia constituye un medio para un fin geográfico. De la misma manera, la interpretación de los acontecimientos históricos requiere un cierto conocimiento de su contexto geográfico; en este caso la geografía supone un medio para un fin histórico. Estas combinaciones de los dos puntos de vista opuestos son posibles si se mantiene de forma clara y continua un mayor énfasis en uno de los dos. Combinarlos de forma coordinada supone dificultades que, hasta ahora por lo menos, parecen rebasar los límites del pensamiento humano. Es posible que una aproximación a semejante combinación pueda hacerse en geografía a través del método de proyección de sucesivas imágenes de geografía histórica de un mismo lugar. Un intento de desarrollar una imagen en movimiento produciría una variación continua tanto en el tiempo como en el espacio que reflejaría, en efecto, la realidad en toda su complejidad, pero parece estar por encima de nuestra capacidad incluso de visualizar y, a buen seguro, de interpretar."

Richard Harsthorne, 1939

4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA TEMPORAL

Una vez determinada la dimensión temporal de los hechos geográficos y su posible representación mediante mapas, este capítulo presenta la metodología que permite estudiar los cambios ambientales mediante herramientas como la teledetección y los sistemas de información geográfica. Como el cambio es la forma de manifestación del tiempo, será necesario hacer explícita la dimensión temporal tanto en relación con la teledetección, como fuente de información temporal, como con los SIG, incluyendo en estos no sólo la dimensión espacial de los hechos geográficos sino también la temporal.

Esta metodología de análisis de las transformaciones ambientales se ha denominado como *sistemas de información geográfica temporal*

4.1 Información temporal

Un sistema de información geográfica temporal (SIGT) puede ser definido con un sistema que permite captar datos espacio-temporales, analizarlos y realizar representaciones en las que aparezca la dimensión temporal (la bibliografía y una breve historia respecto a los SIGT pueden ser consultados en AL-TAHA et Al., 1994).

Cuando hacemos referencia a un sistema de información geográfica como administrador de datos espaciales también estamos tratando información temporal, aunque de manera implícita. La información geográfica tiene una evidente componente temporal, por lo que el adjetivo temporal añadido a información es redundante. Este capítulo pretende hacer patente esa redundancia e insertar el tiempo en los SIG porque todo hecho geográfico presenta, como indicó BERRY (1964), tres componentes: posición, atributo y tiempo.

Berry, precursor con sus ideas de los SIG, construye la denominada *matriz geográfica* (Fig. 4.1) en la que cada lugar aparece en una columna y la característica o atributo de ese lugar en una fila; la intersección de una fila con una columna define una celdilla o, lo que es lo mismo, un hecho geográfico (una característica de un lugar determinado). Esta definición Berry la completa al incorporar las variaciones de las características de un lugar.

LA MATRIZ GEOGRAFICA

(Berry, 1964)

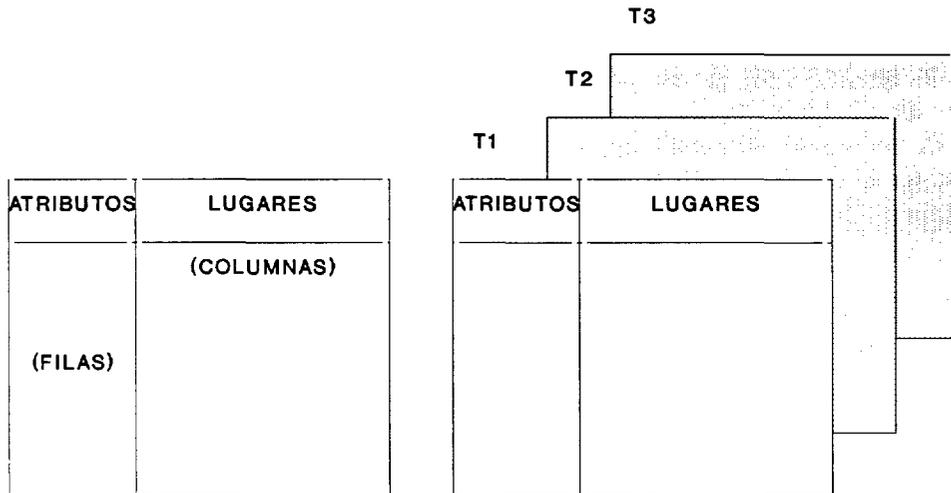


Fig. 4.1

LA MATRIZ GEOGRAFICA

(DANGERMON, 1983)

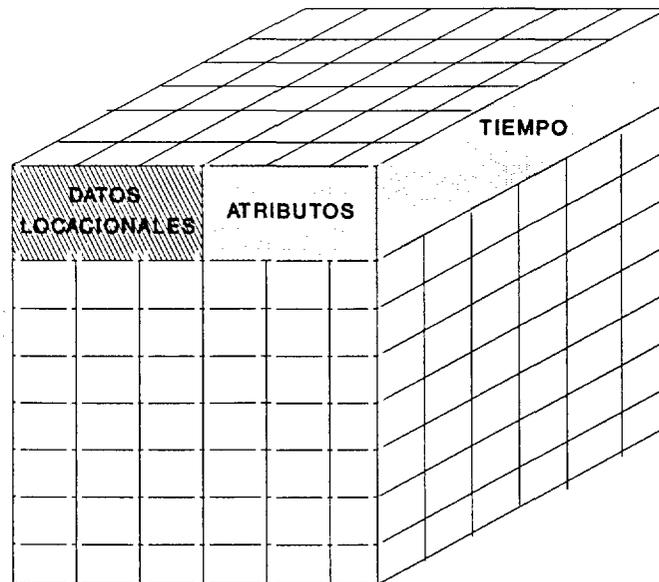


Fig. 4.2

A la matriz se le añaden, entonces, una secuencia de matrices en las que podemos comparar las diversas filas a lo largo el tiempo (cambios en la distribución espacial de los objetos) o las distintas columnas (cambio en el carácter de un área particular).

La matriz, como señalan GUTIÉRREZ PUEBLA y GOULD (1994), aunque recoge información sobre los atributos de los lugares en determinados momentos temporales, no recoge propiamente la localización de los lugares. DANGERMON (1983) varía la matriz de Berry incluyendo los datos locacionales junto con los atributos, por lo que podemos conocer tanto las características de cada hecho geográfico como su ubicación en el espacio y en el tiempo (Fig. 4.2). El modelo de Dangermon permite que los datos espaciales y los atributos sean independientes: los datos locacionales y los atributos cambian independientemente uno del otro con respecto al tiempo (los atributos pueden cambiar de carácter pero reteniendo su posición y viceversa).

Un sistema de información geográfica temporal se articula en los tres conceptos básicos de todo sistema de información: el tipo de datos y su obtención, la entrada al sistema de éstos y su posterior manipulación y la representación de la información obtenida a partir de los datos de entrada.

Como señala PÉREZ RUY-DÍAZ (1992), explicando las teorías de Sinton, los SIG actuales sólo utilizan los dos primeros componentes de la matriz de Berry, la posición y los atributos. La mayoría de los mapas presentan un componente que es fijo (generalmente el tiempo) y centran su interés en la temática y la posición. Lo interesante, en estudios que manejan información histórica, es que ninguno de los tres componentes de un objeto sea fijo y que el tiempo pueda ser estudiado como una variable más.

La importancia de explicitar el tiempo, junto a las dimensiones espacial y temática, se basa en la relevancia de la dimensión histórica en diversos estudios que nos permite, por un lado, identificar eventos críticos junto con áreas críticas y, por otro, predecir, visualizar o controlar las consecuencias de distintos eventos (VISVALINGAM, 1991).

La información histórica de carácter espacial tiene las siguientes funciones (VRANA, 1989):

- a) Determinar un punto temporal (estado) dentro de un ciclo.
- b) Evaluar la efectividad de las políticas empleadas ante esos estados o situaciones históricas.
- c) Analizar pautas futuras.
- d) Tomar decisiones ante los cambios.

De esta forma, LANGRAN (1989) señala las etapas en las funciones que realizan los SIG (Fig. 4.3.). La primera etapa considera a la cartografía automática como precursora de los SIG. En la segunda etapa a los sistemas de información geográfica se les dota de análisis cada vez más sofisticados así como de una mayor capacidad de representación, aunque los modelos empleados en los análisis y la cartografía son estáticos. En una tercera etapa los modelos son dinámicos, se incluye la dimensión temporal y las representaciones se integran en sistemas multimedia dinámicos.

ETAPA	ANÁLISIS	REPRESENTACIÓN
Primera	Sin análisis. Digitalización y almacenamiento de mapas.	Cartografía automática.
Segunda	Análisis espaciales. Modelos estáticos.	Cartografía estática.
Tercera	Análisis espacio-temporales Modelos dinámicos predictivos.	Sistemas multimedia dinámicos.

Fig.4.3: Las etapas de las funciones de los SIG (LANGRAN, 1989).

Un modelo conceptual de manejo de la información temporal puede basarse en la capacidad de utilizar el tiempo cartográfico (pasado, presente, futuro y condicional) en la descripción, el control, la evaluación y la prospectiva de los procesos de cambio (Fig. 4.4).

CAMBIO	TIEMPO CARTOGRÁFICO	FUNCIÓN SIG
¿Qué y cuánto ha cambiado?	Pasado	Descripción
¿Cuáles son los procesos?	Presente	Control
¿Qué pautas va a seguir?	Futuro	Prospectiva
¿Qué hubiera ocurrido si...? ¿Qué ocurrirá si...?	Condicional	Evaluación

Fig 4.4: Funciones del tiempo cartográfico.

La *descripción* del cambio mediante SIG puede realizarse a través del análisis de una serie de estados. De esta forma, obtenemos una visión de los cambios o mutaciones de los objetos que componen una situación espacio-temporal. La descripción contestaría a las preguntas clásicas de qué, dónde y cuánto ha cambiado.

El *control* determina los procesos que están ocurriendo en un tiempo cercano. Hace referencia a cuestiones como ¿qué está sucediendo en un espacio concreto en estos momentos?.

La *evaluación* de las políticas pasadas o el impacto de políticas futuras es otra de las funciones básicas de un SIGT. Preguntas como ¿qué hubiera ocurrido si...? o ¿qué ocurriría si...? corresponden a este tipo de funciones.

Por último, mediante este tipo de sistemas de información geográfica, se pueden realizar *prospectivas*, o modelos predictivos, mediante el tratamiento de diversas variables que intervienen en los procesos a analizar o siguiendo las pautas del estado que se toma como referencia y determinando la probabilidad de que la ocurrencia de los fenómenos siga la misma ruta en el futuro.

Dentro de los hechos ubicados temporalmente en el pasado y con análisis basados en la descripción pueden encuadrarse los estudios sobre cambio ambiental (las transformaciones de la Tierra propiciadas por la evolución de las actividades humanas), los análisis de procesos naturales (climáticos y morfodinámicos, por ejemplo) o los estudios sobre evolución urbana.

Si queremos evaluar políticas o acciones pasadas debemos comparar los fines esperados de esas actuaciones con los resultados conseguidos, utilizando un tiempo

cartográfico condicional. Este tipo de análisis puede ser planteado en la evaluación de políticas urbanísticas, agrícolas o ambientales. El tiempo condicional puede ser también utilizado en su aspecto futuro: el análisis puede ser el del impacto que tendrán las diferentes acciones sobre un territorio concreto.

En un SIGT también podemos utilizar un tiempo futuro en el que visualicemos situaciones espacio-temporales que pueden llegar a suceder. Podemos plantear este tipo de análisis en temas en los que recreemos situaciones futuras a partir de datos del presente o pasados: propuestas de planeamiento, de ubicación de actividades concretas atendiendo a su dinámica anterior, de protección de espacios o, simplemente, de visualización de espacios futuros.

La información temporal también puede ser un elemento clave en el control de calidad de diversos procesos de manipulación y almacenamiento de datos (CHRISMAN, 1983).

Y, además, una de las aplicaciones más significativas de este tipo de sistemas puede ser la actualización cartográfica y estadística en campos como la información catastral o en inventarios de carácter ambiental, como son los mapas y estadísticas de ocupación del suelo.

Para concluir, se pueden agrupar las diversas funciones de la información temporal en un SIG que analice el cambio ambiental a partir de las ideas de LANGRAN, 1992:

INVENTARIO	obtener y almacenar datos temáticos de los diferentes estados de un territorio concreto.
ANÁLISIS	Analizar datos temporales como una variable no fija.
VISUALIZACIÓN	Generar representaciones estáticas o dinámicas así como estadísticas de cambio ambiental.
GESTIÓN	Evaluar políticas pasadas y analizar futuras pautas.

Fig. 4.5: Funciones de la información sobre cambio ambiental.

4.2 La captación de los datos: detección de los cambios mediante teledetección.

Una de las primeras labores en el diseño de un SIG consiste en la identificación y obtención de la información. En esta Tesis esta función se hará mediante teledetección (considerando como tal tanto imágenes de satélite como fotografías aéreas convencionales).

La detección del cambio se ha basado, tradicionalmente, en la interpretación de fotografías aéreas, con las ventajas (buena fiabilidad en la determinación de categorías de ocupación del suelo) y los inconvenientes (principalmente de manejo de la información y en la obtención de productos cartográficos y estadísticos) que ello plantea (WAGNER, 1964).

La interpretación de imágenes de satélite, ya sea en formato digital o analógico, puede resultar un método alternativo en la detección de las transformaciones de los paisajes e, incluso, en su cuantificación (DEANE et al., 1987).

Una de las principales características en la detección de las transformaciones mediante técnicas digitales es la diferente respuesta espectral de un píxel entre dos fechas si se ha producido una variación, asunción en la que están basadas la mayoría de las metodologías utilizadas (JENSEN, 1986).

Las imágenes de satélite pueden ser obtenidas de forma periódica y aproximadamente en la misma época y con un formato homogéneo, lo que supone una valiosa cualidad en el seguimiento de las transformaciones de la superficie terrestre. Esto representa una enorme ventaja frente a la cartografía convencional, imposibilitada para reflejar los cambios producidos en áreas de fuerte dinamicidad (MOREIRA Y OJEDA, 1988). Además, los sensores remotos nos permiten obtener información sobre áreas no visibles del espectro electromagnético, no accesibles en muchos casos con la fotografía aérea convencional. (Para una mayor profundización en la comparación de fotografías aéreas e imágenes de satélite se puede consultar el trabajo de MARTÍNEZ VEGA, 1989).

Las imágenes, ya tratadas, permiten una eficaz obtención de estadísticas al igual que productos cartográficos. Por último, los resultados obtenidos pueden ser integrados en sistemas de información geográfica y agregados a datos sobre otras características físicas del territorio analizado (suelos, geomorfología, etc.) o a datos sobre cambios que no tienen reflejo directo en el terreno, como transformaciones de la población, el empleo o la propiedad (THIE, 1987).

Pero no todo son ventajas en la utilización de sensores remotos para la detección de cambios. En muchos casos la resolución espacial de los sensores en activo (30 m. en el caso del *Thematic Mapper* del Landsat 5, 10 m. en la banda pancromática del SPOT y 15 m. en la futura banda pancromática del *Enhanced Thematic Mapper* del fallido Landsat 6) se

muestra insuficiente en diversos estudios, especialmente en áreas urbanas o de gran complejidad.

El correcto alineamiento de los píxeles entre dos imágenes al abordar un estudio multitemporal junto a la bondad de la clasificación son dos de los principales problemas a solventar (GORDON, 1980). La imposibilidad, en muchos casos, de discriminar formas de ocupación del suelo similares pero con características espectrales diferentes determina que los resultados estén en función de la exactitud de la clasificación.

Al realizar un estudio de cambios hay que tener en cuenta cual va a ser el acotamiento temporal (los aniversarios que se van a elegir). Además de analizar las propias características del área y su dinámica y la estación más favorable para la detección de las transformaciones, hay que tener en cuenta la disponibilidad comercial de las imágenes elegidas así como su calidad. Debemos pensar, también, que sólo podemos remontarnos a un par de décadas en el análisis de transformaciones con sensores remotos (disponemos de datos del sensor MSS desde 1972).

También, y no menos importante, hay que evaluar los costes económicos de este tipo de estudios. A la ya importante inversión en hardware, software, periféricos y formación hay que añadir la adquisición de las imágenes que, en este tipo de investigaciones, como mínimo, se duplica.

La teledetección serviría, para concluir, como fuente de información en el SIG (CHUVIECO SALINERO, 1990b) y se incorporaría al sistema mediante la introducción directa de los datos originales o su clasificación o a través de digitalización o utilización de scanners o barredores ópticos o vídeos.

Las técnicas empleadas en la detección de las transformaciones espaciales se dividen en dos grandes categorías, dependiendo de su finalidad.

En el primer grupo se encuentran las técnicas que sirven únicamente para detectar el cambio (realces de la imagen y algunas comparaciones visuales). En el segundo grupo se encuadran aquellos métodos que, además de detectar el cambio, determinan la naturaleza de éste y lo cuantifican (comparación de clasificaciones y clasificación de imágenes multitemporales).

Además podemos realizar una segunda distinción de técnicas entre aquellas que utilizan tratamientos digitales de la imagen y aquellas otras que realizan interpretaciones visuales a partir de ortoimágenes espaciales.

4.2.1 Interpretación visual

La utilización de imágenes de satélite en estudios ambientales puede presentar dos vertientes. Por un lado, podemos realizar operaciones digitales tendentes a discriminar categorías de una temática determinada, o clasificaciones digitales. Por otro, podemos utilizar las imágenes de satélite para obtener mapas, representaciones de la superficie terrestre conforme a una serie de convenciones, que llamamos ortoimágenes espaciales. En los dos métodos se utilizan algoritmos matemáticos que nos permiten discriminar mejor las diferentes categorías (realces). Ambos métodos no son excluyentes, sino complementarios.

En este apartado vamos a hacer referencia a una de esas dos vertientes, la utilización de ortoimágenes espaciales en los estudios sobre cambio ambiental, sin referirnos a la importancia de la fotografía aérea en geografía (SABATÉ MARTÍNEZ, 1986).

a) Ortoimágenes espaciales

Por ortoimagen espacial entendemos una composición, en principio en formato sólido como el papel, georreferenciada en un determinado sistema de coordenadas y tratada digitalmente para hacer más evidentes las características que deseamos. Esta definición puede cuadrar perfectamente con lo que entendemos por mapa y, por lo tanto, podemos considerar a las ortoimágenes como mapas. La diferencia primordial entre un mapa y una ortoimagen es la jerarquía de los objetos que aparecen en ambos textos. En un mapa convencional el cartógrafo señala los elementos de la realidad que él cree más convenientes (ciudades, caminos, edificaciones, etc.); en una ortoimagen espacial la representación está menos condicionada y obedece a las características físicas del sensor (resolución espectral y espacial), aunque el cartógrafo puede resaltar unos objetos más que otros mediante la combinación de diferentes bandas o sensores.

En la elaboración de una ortoimagen espacial podemos determinar los siguientes procedimientos:

- Elección de un área según unos estándares determinados (como los cortes 1:50.000 del MTN, por ejemplo).
- Georreferenciación de la imagen conforme a esos estándares.
- Combinación de bandas o imágenes de sensores diferentes para mejorar la resolución espacial o espectral. Realización de composiciones en color o imágenes pancromáticas.
- Realces digitales de la imagen para conformarla a nuestra percepción de los colores.
- Composición y justificación cartográfica: superposición de coordenadas, topónimos, mapas de referencia, claves de colores, etc.
- Salida en papel.

Aunque podemos realizar ortoimágenes espaciales con los productos de un sólo sensor (ya sea LANDSAT, SPOT, NOAA u otros), o sus combinaciones (es muy común la combinación de SPOT XS, con tres bandas y 20 metros de resolución espacial, con el SPOT P de píxeles de 10X10 metros).

Dentro de esta situación, una de las más comunes es la que utiliza información procedente del LANDSAT TM (alta resolución espectral con 7 bandas y baja espacial con píxeles de 30X30 metros) con el SPOT pancromático, con píxeles de 10X10 metros. En este procedimiento se pueden utilizar tres métodos diferentes (CHÁVEZ et al., 1991): la unión utilizando una transformación de brillo-intensidad-saturación (HIS); mediante un análisis de componentes principales o con filtros de paso alto.

En el primero de estos métodos (transformación HIS) a una combinación de 3 bandas de la imagen TM se la realiza una transformación brillo-intensidad-saturación para, después de realizar un ajuste de contraste en la imagen SPOT pancro (para que la varianza y media sea igual al componente intensidad), llevar a cabo una composición en la que el componente intensidad es sustituido por la imagen SPOT.

En el segundo método (ACP) la banda del SPOT pancromático sustituye al primer componente obtenido de las bandas TM.

El último método, el que proporciona mejores resultados según los autores, consiste en unir la imagen SPOT a la TM habiéndole aplicado previamente a la primera un filtro de paso alto.

Además de las combinaciones LANDSAT TM-SPOT P, podemos realizar otras uniendo diferentes tipos de sensores (MORENO,1991): SPOT XS-SPOT P, LANDSAT TMx-LANDSAT TM6, LANDSAT TM-LANDSAT MSS, SPOT-AVHRR o LANDSAT-AVHRR.

b) Las características de las imágenes y la visión humana

La interpretación de ortoimágenes espaciales para un determinado fin (en nuestro caso la detección de cambios ambientales) depende tanto de las características de la visión humana como de las propias peculiaridades de la imagen a interpretar (DRURY, 1987; CAMPBELL, 1987).

El proceso ante el que el sistema de la visión humana toma una decisión o realiza una interpretación, siguiendo a DRURY (1987), puede denominarse como *disección* (Fig. 4.6). La disección consiste en concentrarnos en un hecho particular de entre todos los estímulos que se nos ofrece a nuestra percepción visual. Cuando observamos un paisaje, o una fotografía aérea o una imagen espacial, no estamos apreciando todos los elementos de ese paisaje, sino los que nos atraen por su especial significación. Tenemos, por tanto, información que, en principio, no nos interesa.

Al igual que cuando hacemos un análisis de componentes principales para reducir la información redundante de una imagen, nuestro sentido visual únicamente procesa aquello que llama más nuestra atención (por su forma, su tamaño o su color) despreciando el resto de la información.

El proceso de disección consta de la *detección* de los objetos (¿qué hay de interés en la imagen?), de la *localización* (posición de los objetos que hayamos considerado relevantes o que busquemos), de su *reconocimiento* (si deseamos hacer un mapa de la vegetación diferenciaremos bosques de tierras de cultivo, por ejemplo) y, finalmente, su *identificación* (dentro de los bosques distinguiremos si son caducifólios o perennifólios y las diferentes especies que lo componen).

En el proceso de disección son fundamentales las características de la imagen a analizar, que podemos definir como *resolución*.

VISION HUMANA E ORTOIMAGENES ESPACIALES

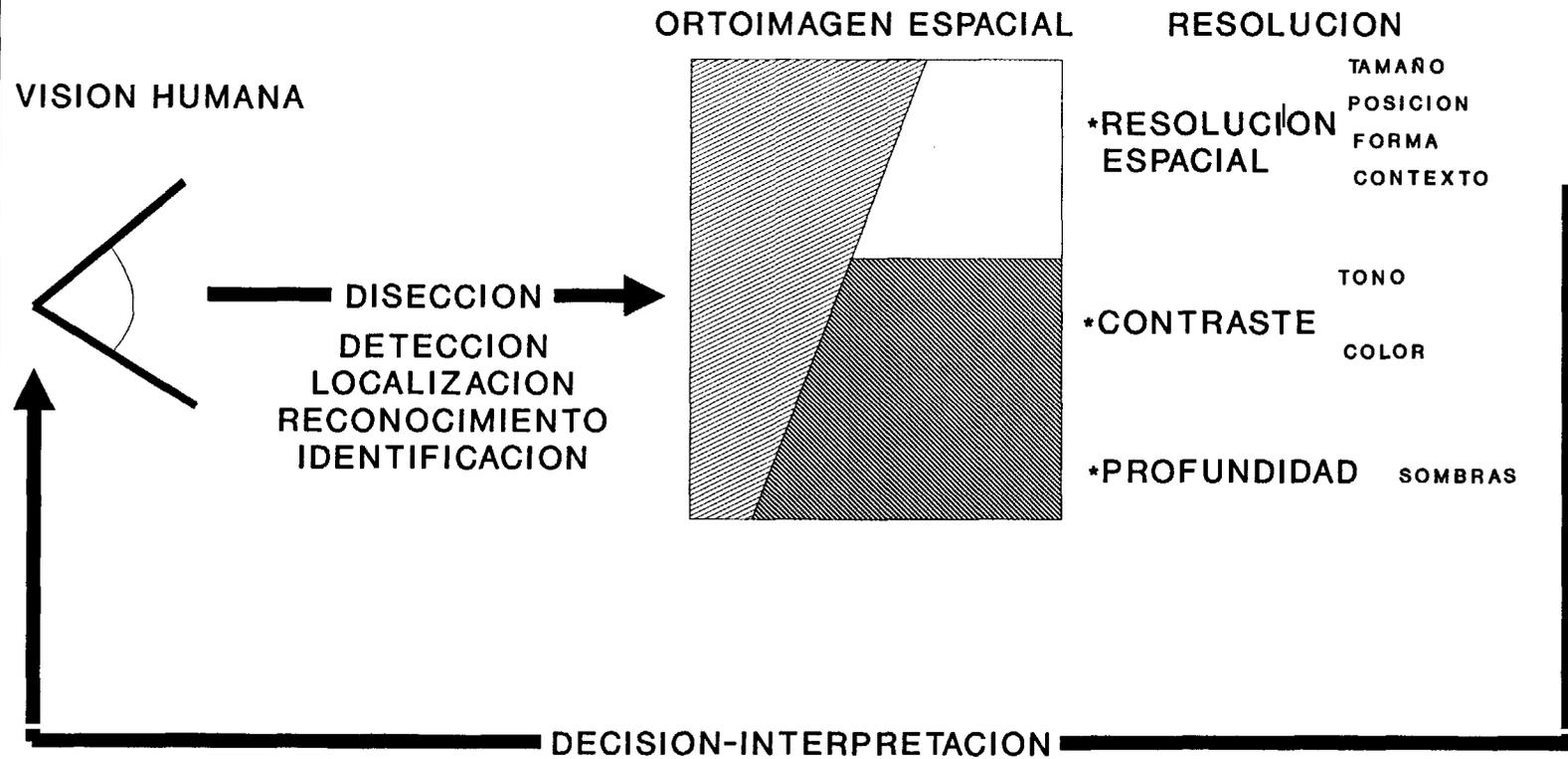


Fig. 4.6

Una de las características primordiales de una ortoimagen espacial será su *resolución espacial*. Está dependerá del tamaño de los objetos, su posición, el contexto en el que se encuentran y su forma. Supongamos que pretendemos analizar una imagen compuesta por la vega de un río con cultivos en regadío, las terrazas altas y el piedemonte con secanos y un zócalo montañoso con formaciones boscosas. En primer lugar nos llamará la atención el tamaño de esos objetos (la gran mancha de regadío frente a la presumible fragmentación del área montañosa).

El tamaño irá ligado a la forma de los objetos: rápidamente asociaremos la forma alargada del perímetro irrigado con el de la línea del río del que se extrae el agua o los canales que la suministran. La posición será también clave en el análisis: podemos discernir distintos tipos de árboles según se encuentren en la solana o la umbría del área montañosa. Finalmente, para afinar la interpretación, acudiremos al contexto: evidentemente sería raro encontrar áreas regadas fuera de los terrenos fértiles de la vega.

Al realizar las interpretaciones anteriores mentalmente hemos pensado en el color que presentarían esos objetos, que forman el *contraste* de una imagen. Si el ojo humano puede percibir unos 20 o 30 tonos de grises esta cifra se eleva hasta los 7 millones de colores (otra cosa es que los podamos nombrar), por lo que el color es básico a la hora de interpretar una ortoimagen espacial.

El color final de una ortoimagen dependerá de la combinación de bandas espectrales originales que hayamos realizado en el equipo de tratamiento digital. Este proceso consiste en asignar a tres bandas espectrales determinadas de un sensor uno de los tres colores aditivos primarios (rojo, verde y azul) formando una composición coloreada. Al realizar esta operación tendremos que tener en cuenta la percepción que tenemos de los colores (un profano no asocia el color rojo con los cultivos en regadío, pero alguien que haya trabajado con imágenes sí). De esta forma, podemos realizar composiciones en color natural (asignamos las bandas espectrales rojo, verde y azul a los cañones rojo, verde y azul, por este orden) o en falso color, trabajando con las bandas infrarrojas y las visibles.

Por último, al realizar una interpretación visual de una imagen (y no olvidemos que siempre tenemos que realizarla aunque trabajemos con los datos digitales) es necesario tener en cuenta que poseemos una visión binocular, que depende de la distancia a la que se encuentren los objetos y su tamaño, hablando entonces de *profundidad*. Esta capacidad nos

permite crear paisajes en perspectiva y diferenciar un valle de una zona montañosa, por ejemplo. En una imagen de satélite podemos detectar también los aspectos morfológicos a través de las condiciones de iluminación cuando el sensor toma una imagen. Las sombras en una imagen pueden servir tanto de referencia, nos indican la morfología del terreno, como de interferencia al nos permitimos interpretar lo que ocultan.

c) El tratamiento de los datos y la detección de los cambios

En el caso de estudios multitemporales la interpretación visual puede tener un peso importante ya sea como acercamiento a la problemática a analizar o como un fin en sí misma.

En este tipo de estudios a las imágenes de satélite se le unen otras herramientas insustituibles como la fotografía aérea convencional, la cartografía temática existente del área y el trabajo de campo (HILWIG, 1980; GUPTA Y MUNSHI, 1985; SABATÉ MARTÍNEZ et al, 1991).

Un método empleado en este tipo de estudios consiste en la comparación de imágenes analógicas de fechas diferentes. CRAPPER y HYNSON (1983) proponen, ante lo tedioso de señalar las áreas de cambio entre dos imágenes en soporte fotográfico, superponer una transparencia en positivo y otra en negativo de una misma zona para dos fechas diferentes y comprobar las variaciones.

Este sistema, aunque ya en formato digital, ha sido empleado por MARTIN y HOWARTH (1989) para la detección de cambios en un área metropolitana de Canadá. Los autores comparan dos composiciones en color utilizando las bandas 3,2,1 del satélite SPOT XS mostrándolas en la pantalla del monitor al mismo tiempo. En una muestra del área total del estudio se determinaron clases de ocupación del suelo y los cambios producidos entre las dos fechas. La estimación de la exactitud señalada por los autores para este método es del 78,9%, bajando a un 62,3% con respecto a la determinación de categorías de cambio entre las dos imágenes.

El siguiente paso en este tipo de análisis es la interpretación visual de composiciones multitemporales utilizando varias imágenes. HOWARTH y BOASSON (1983) superponen una banda (la 5 del sensor MSS) a la misma banda de una imagen de fecha posterior, asignándoles una tabla de color determinada. La composición coloreada resultante puede ser interpretada identificando los tipos de ocupación del suelo y sus transformaciones.

MARTIN y HOWARTH (1989), en el mismo trabajo señalado anteriormente, realizan una interpretación de una composición multitemporal. En este caso la banda 2 de una imagen SPOT XS de julio de 1986 es superpuesta a la misma banda de una imagen de junio de 1987. A la primera banda se le asigna el color rojo y a la segunda el verde, determinándose las relaciones entre el color de la imagen resultante y las diferentes categorías a analizar. El porcentaje de exactitud para el conjunto de la interpretación se sitúa en el 59,9%; el porcentaje de confianza de las categorías de cambio es del 32,5%.

En un estudio similar MARTIN (1989) realiza una composición multitemporal con la banda 5 de imágenes MSS de 1974, 1978 y 1981. El porcentaje de exactitud en el cambio de ocupación del suelo entre 1974 y 1981 es del 53,1%.

Aunque para este tipo de análisis de cambio local lo más usual es la utilización de imágenes Landsat y Spot (PEREZ, 1991, utiliza la combinación de datos MSS y SPOT XS), también se ha ensayado la utilización de otro tipo de sensores, sin buenos resultados, como el Radar de Apertura Sintética (BRYAN, 1984; WHITE, 1991)

Aunque existan todos estos métodos para la detección visual de cambios mediante imágenes de satélite lo más usual es utilizar las ortoimágenes espaciales como documentos en los que delimitemos las características que buscamos para pasar posteriormente a compararlo con fechas diferentes. En un principio es una técnica sinónima a la que utilizaríamos con fotografías aéreas, con la primordial diferencia de que la ortoimagen ya está georreferenciada con lo que generamos un producto final geoméricamente corregido y que abarca un espacio de cobertura mayor que una fotografía aérea.

El proceso de interpretación visual es, también, un proceso de disección: la segmentación del espacio en una serie de unidades discretas que se ajustan a unos criterios determinados (Fig. 4.7). Estos criterios han de recogerse en una clasificación o una taxonomía en la que aparezcan todas las posibles variantes del tema que vamos a abordar (si es una clasificación de ocupación del suelo tendremos que determinar los diferentes grupos y subgrupos de unidades que vamos a encontrar). A continuación se aborda la descripción de los taxones que hemos recogido en la clasificación mediante unas claves de identificación que sirvan tanto para acotarlos para nuestra interpretación como para describirlos para los resultados finales.

INTERPRETACION VISUAL DE ORTOIMAGENES ESPACIALES

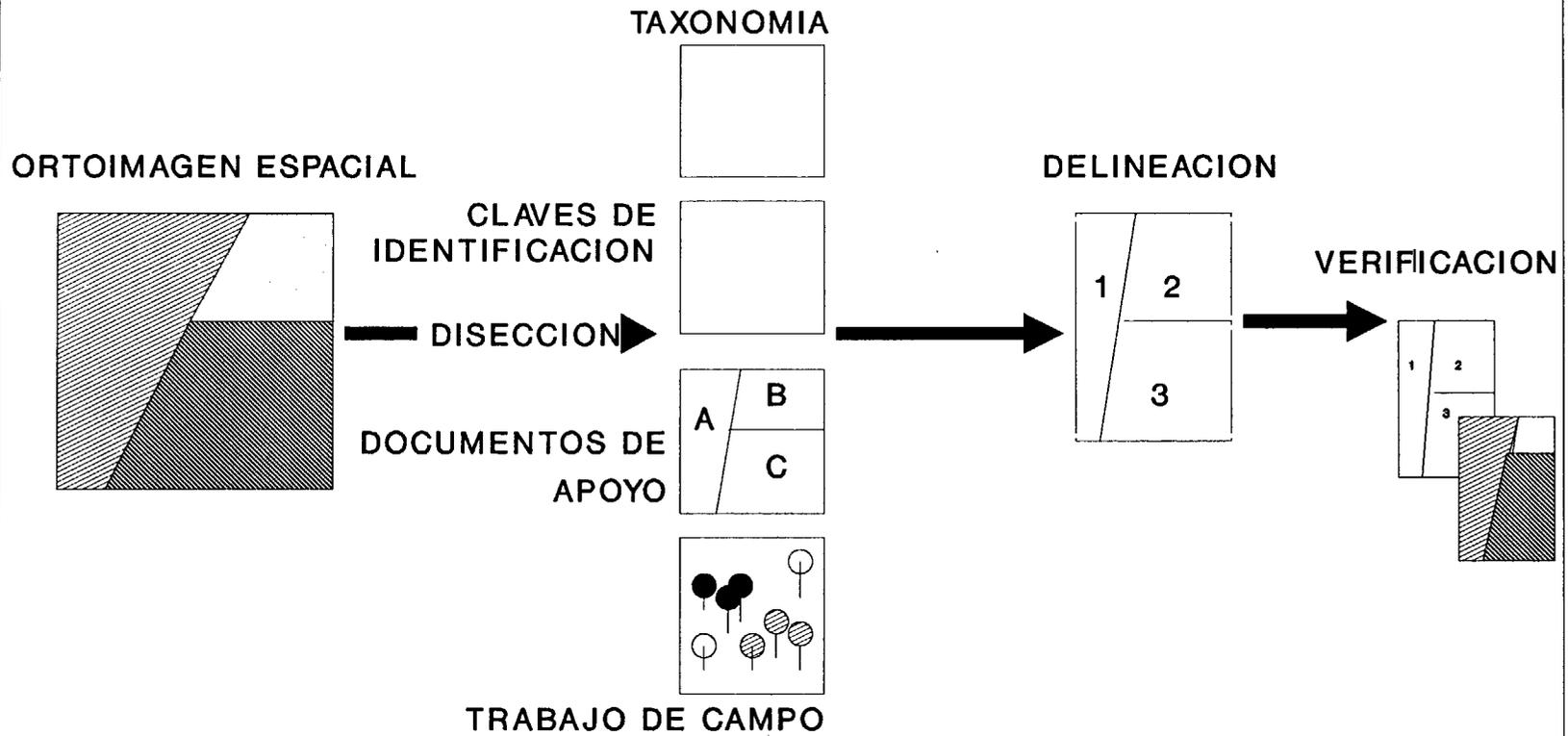


Fig. 4.7

En este proceso de identificación podemos utilizar diferentes documentos de apoyo, con especial interés en la fotografía aérea (existen numerosas clases de ocupación del suelo que no se pueden detectar sin este documento o es necesario para delimitar bordes entre categorías confusas) y, sobre todo, en el trabajo de campo, en el contraste con la realidad. Estos pasos nos llevan a la delineación (mediante la superposición a la imagen de un soporte transparente) de las unidades referidas en la clasificación.

En la delineación hay que tener en cuenta una serie de puntos: el establecimiento de unas unidades mínimas de delineación, la claridad y legibilidad en la creación de polígonos y la corrección en la delineación de bordes para la unión entre hojas. La delineación final ha de mostrar en un primer vistazo los rasgos generales del área representada: en el ejemplo anterior del valle, el piedemonte y la montaña una buena delineación nos tendría que mostrar estas unidades, por mucha heterogeneidad que hubiera en ellas.

Posteriormente, el documento así originado puede ser digitalizado para su introducción en un sistema de información geográfica, por lo que deberemos tener en cuenta su claridad así como la no existencia de unidades excesivamente pequeñas.

Para detectar los cambios ambientales este proceso se realiza con tantos aniversarios como queramos utilizar en el análisis y superponiendo posteriormente los resultados.

4.2.2 Tratamientos digitales

Para detectar los cambios así como su naturaleza podemos utilizar también diversos procedimientos digitales que participan de muchos de los conceptos anteriormente presentados.

a) Realces digitales de la imagen

El realce digital consiste en la mejora de una imagen en el contexto de una aplicación particular (CURRAN, 1985).

Este conjunto de técnicas tiene una importante aplicación en la detección de las variaciones espaciales, especialmente en espacios urbanos y metropolitanos ante la complejidad espectral y el relativamente pequeño tamaño de las cubiertas a analizar (HOWARTH Y BOASSON, 1983).

Entre los algoritmos más comunes empleados en la detección de cambios aparecen, en la literatura analizada, la sustracción de los niveles digitales de dos imágenes, el cociente o ratio, los índices de vegetación y diversos filtros digitales.

1. Sustracción de los niveles digitales

La técnica consiste en restar, píxel a píxel, los niveles digitales de una imagen a otra (JENSEN, 1986).

La fórmula sería:

$$\delta X^{kij} = ND^{kij}(T_1) - ND^{kij}(T_2) + C$$

en donde,

δX^{kij} : valor de cambio del píxel.

$ND^{kij}(T_1)$: cuenta digital en la fecha 1.

$ND^{kij}(T_2)$: cuenta digital en la fecha 2.

C: constante.

i: fila.

j: columna.

k: banda.

En análisis con rangos de 256 niveles (8 bit) el resultado varía entre 0 y 255, determinando un histograma de frecuencias en donde los píxeles que no tengan valores de cambio están distribuidos en el centro y los píxeles que presentan diferencias se sitúan en la cola de la distribución.

El problema radica en determinar cuales son los umbrales de cambio entre los píxeles representados en el histograma, determinándose por métodos estadísticos o por conocimiento del área analizada. Realizando una composición en color se pueden determinar directamente los cambios o mediante una clasificación estándar.

WEISMILLER et al.(1977) presentan algunos resultados de este método en una zona costera del Golfo de México utilizando imágenes Landsat MSS. Mediante esta técnica se determinan trece clases espectrales, identificándose siete clases informacionales, como bosque a bosque, área no quemada a quemada o agua a agua.

JENSEN Y TOLL (1982) indican un porcentaje de exactitud del 77% en la utilización de este método en un área residencial, utilizando imágenes Landsat MSS y comparando los resultados del tratamiento digital a un mapa binario (cambio/no cambio), obtenido mediante fotografía aérea convencional.

2. Cociente o ratio entre bandas

La ratio o cociente entre bandas consiste en la división de la intensidad de la radiación electromagnética reflejada de una banda para una imagen entre la intensidad de radiación de la misma banda para otra imagen (TODD, 1977).

La fórmula matemática sería:

$$\delta X^{kij} = \frac{ND^{kij} (T_1)}{ND^{kij} (T_2)}$$

En donde,

δX^{kij} : valor de cambio del píxel.

$ND^{kij} (T_1)$: cuenta digital en la fecha 1.

$ND^{kij} (T_2)$: cuenta digital en la fecha 2.

i: fila.

j: columna.

k: banda.

Un píxel que no ha cambiado entre las dos fechas presenta valores de 1, mientras que las áreas de cambio poseen valores inferiores o superiores a 1. Al igual que en el anterior método han de señalarse umbrales de cambio (JENSEN, 1986).

TODD (1977) utiliza esta técnica en un área urbana combinando la banda 5 de dos imágenes Landsat MSS de 1972 y 1974. Mediante el cociente entre bandas obtiene un mapa de cambio que es superpuesto a fotografías aéreas para verificar los resultados. El 91,4% de las áreas que han cambiado de uso u ocupación del suelo han sido identificadas mediante el tratamiento digital. A continuación se clasifica una imagen en seis categorías y se le superpone el mapa de cambios para determinar el tipo de evolución que se ha producido. Para la categoría de área residencial unifamiliar diez de las diecinueve áreas de cambio son correctas.

HOWARTH y WICKARE (1981) aplican el método a un área húmeda en el límite de la tundra canadiense. Obtienen un cociente de las bandas 5 y 7 de imágenes Landsat para realizar posteriormente una composición en color de las dos ratios (rojo para la ratio de la banda 5 y azul y verde para la ratio de la banda 7). Los cambios en el nivel del agua aparecen en rojo; en azul las transformaciones en la vegetación y en diferentes tonos de marrones, grises y blancos las áreas con pocos cambios o sin cambios. Como señalan los autores es una técnica que puede servir para detectar áreas de cambio al realizar estudios de carácter más amplio.

HOWARTH y BOASSON (1983) aplican el mismo método a un área intensamente urbanizada. Determinan la ratio de las bandas 5 y 7 de una imagen MSS. La ratio de la banda 5 aparece como la más indicada para el análisis de categorías como áreas urbanizadas o agrícolas; los cocientes de la banda 7 resultan adecuados para las oscilaciones en el nivel de las superficies de agua.

3. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (A.C.P.) o transformación de Karhunen-Loève es una técnica encaminada a resumir un grupo amplio de datos en un nuevo conjunto más reducido, sin por ello perder la información básica inicial (CHUVIECO SALINERO, 1990a).

Este método reduce considerablemente la dimensionalidad de la detección del cambio, creando nuevas bandas en las que se recoge la información más relevante sobre los sucesos ocurridos entre dos fechas determinadas.

El análisis de componentes principales se puede representar gráficamente en un diagrama bivariado en el que las variables X, Y representan las cuentas digitales de una banda espectral para dos fechas diferentes. En este histograma bidimensional la nube de puntos crea una elipse (con dos ejes principales de variación) que determina el grado de correlación entre las bandas representadas. Una corrección alta denota una ausencia de cambios entre las dos fechas analizadas; una correlación baja indica la existencia de transformaciones (RICHARDS, 1984).

Para llevar a cabo el A.C.P. los ejes de este espacio espectral representado se rotan, haciéndolos coincidir con los ejes de la elipse, determinando la dirección y la longitud del llamado primer componente principal y la primera banda obtenida mediante componentes principales. De esta forma se pueden obtener tantos componentes principales como dimensiones tengamos (ERDAS, 1990).

En un análisis de componentes principales se emplean los conceptos desarrollados anteriormente, expresados matemáticamente:

- Realización de una matriz de covarianza de las bandas originales.
- Derivación de la matriz de covarianza de los valores propios para cada uno de los componentes principales. Los valores propios expresan la longitud de cada uno de los nuevos componentes e, indirectamente, la proporción de la información original que retienen.
- Obtención de la varianza original explicada por cada componente a través de los vectores propios.
- Cálculo de la matriz de correlación entre componentes principales y bandas de la imagen mediante los vectores propios. Estos indican la dirección del componente o ponderación que debe aplicarse a cada una de las bandas originales para obtener un nuevo componente principal. La matriz permite conocer el sentido espectral de los componentes.
- Interpretación de los componentes principales obtenidos:

- a) Creación de nuevas bandas y composiciones de imágenes a partir de los componentes principales y sus combinaciones.
- b) Realización de diagramas tridimensionales de las frecuencias de los píxeles según dos componentes determinados (JOLY et al., 1983).
- c) Clasificaciones a partir del tratamiento de los componentes principales (PALÁ COMELLES et al., 1986).
- d) Cartografía temática.

BYRNE et al. (1980) analizan la transformación espacial de un área costera de rápido crecimiento en el sureste de Australia utilizando imágenes MSS y realizando un análisis de componentes principales. Los dos primeros componentes expresan las características comunes a las dos imágenes, por lo que no son significativos para la detección de cambios. El primer componente es el responsable del 91% de la varianza y presenta una excelente impresión de la rugosidad en las masas de agua y de la topografía del terreno. El tercer y cuarto componente contienen la mayor información sobre el cambio espacial. Esta información se deteriora en el componente 5, para ser nula en los restantes.

RICHARDS (1984) desarrolla el método de componentes principales en el estudio de cambios ambientales, en concreto incendios en un área cercana a Sydney. Utiliza dos imágenes Landsat MSS con una diferencia temporal de un año, realizando una clasificación no supervisada de los componentes principales. El autor señala confusiones entre los diversos tipos de ocupación del suelo, especialmente entre áreas quemadas y las orillas con vegetación de las masas de agua.

MARTIN (1989), en un estudio sobre el área metropolitana de Toronto, realiza un análisis de componentes principales para las bandas 5 y 7 del sensor MSS en tres fechas diferentes, creando una composición en color. La comparación visual de los resultados obtenidos sobre transformación del espacio con fotografías aéreas da como resultado una fiabilidad del 76%.

4. Índices de vegetación

Los índices de vegetación se basan en la combinación de las bandas del rojo e infrarrojo cercano del espectro. Cuanto mayor sea el contraste de los niveles digitales entre estas bandas, mayor vigor presentará la vegetación.

HOWARTH y BOASSON (1983) utilizan este procedimiento en el estudio del cambio en áreas urbanizadas mediante imágenes Landsat MSS. Los autores desarrollan un índice de vegetación de diferencia normalizada ($IVDN = (banda\ 7 - banda\ 5) / (banda\ 7 + banda\ 5)$) para cada una de las dos fechas, asignando al resultado una tabla de color y superponiendo las dos composiciones resultantes. De esta forma se llega a una discriminación entre las áreas edificadas y los espacios con vegetación.

5. Filtros digitales

Los filtros digitales tienen como finalidad agrupar píxeles de características similares de forma que se discriminen del resto. Esta técnica se ha aplicado en los estudios multitemporales utilizando filtros de baja y alta frecuencia (JENSEN, 1986).

6. Regresión de imágenes

También pueden utilizarse otras técnicas como la regresión de imágenes. Esta técnica (LÓPEZ et al. 1985) se basa en el análisis de regresión y el cálculo de residuales, pero únicamente es de gran utilidad cuando se estudia un único fenómeno (en la cita la identificación y cuantificación de los cambios en algunos usos del suelo tras la construcción de un embalse y el análisis de los efectos de un período de sequía).

b) Clasificación de imágenes

La detección de las transformaciones espaciales se puede llevar a cabo comparando imágenes ya clasificadas o haciendo clasificaciones de imágenes multitemporales, independientemente de que para llegar a estas clasificaciones se hayan utilizado diversas técnicas, como los reales comentados previamente y las interpretaciones visuales.

La detección de cambios mediante clasificación de imágenes puede abordarse de dos formas diferentes (Fig. 4.8).

DETECCION DE CAMBIOS MEDIANTE CLASIFICACION DE IMAGENES

96

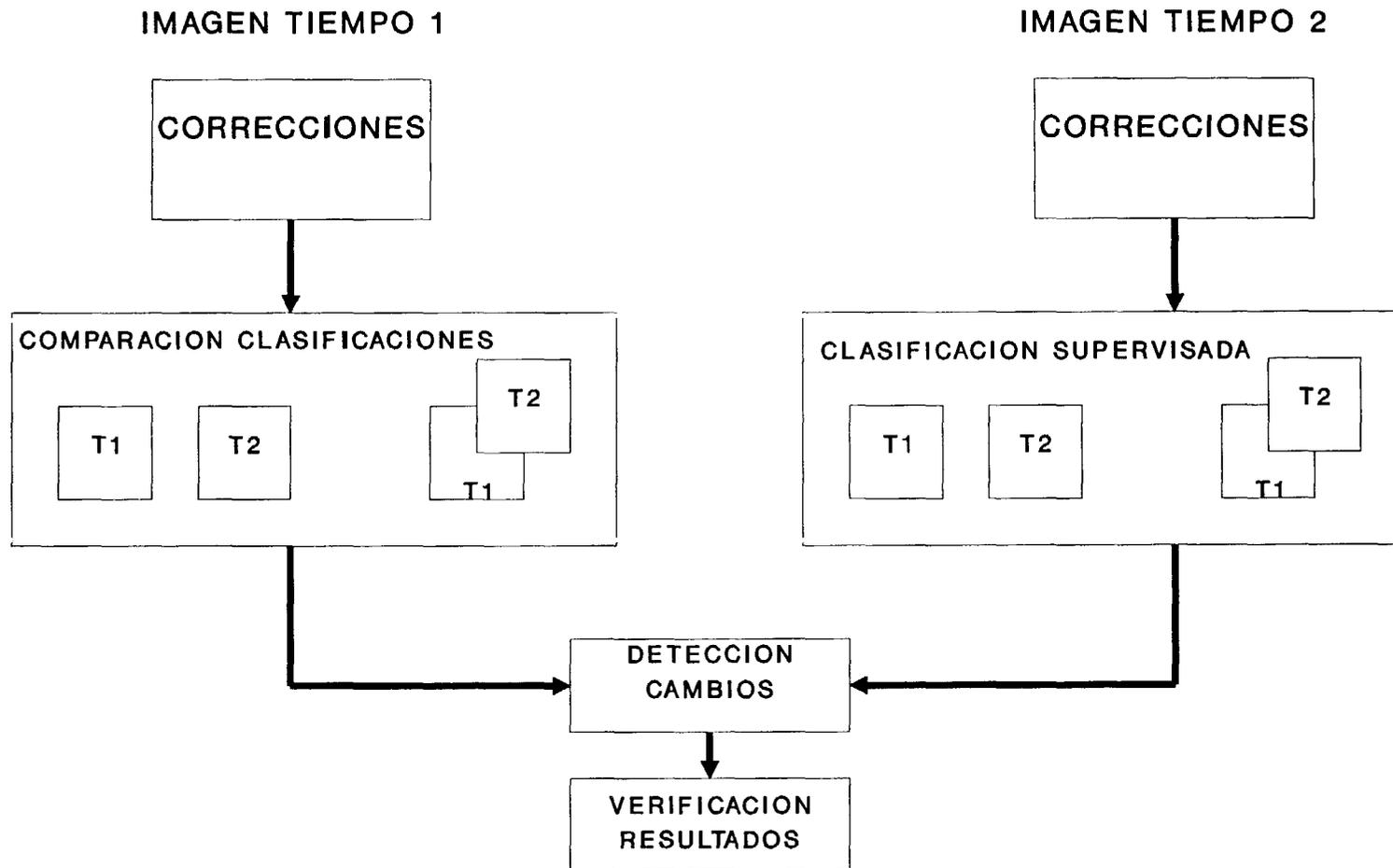


Fig. 4.8 (Adaptado de MARTIN y HOWARTH, 1989)

La primera consiste en comparar dos imágenes de diferente fecha para un mismo lugar clasificadas de forma independiente (comparación de clasificaciones). La segunda (clasificación de una imagen multitemporal) se basa en la detección de cambios mediante una clasificación obtenida de una imagen multitemporal.

1. Comparación de clasificaciones

Mediante este método un algoritmo compara las clasificaciones de dos fechas utilizando pares de categorías especificadas por el analista y genera una cartografía que indica las áreas de cambio (JENSEN, 1986).

Asimismo, esta técnica permite obtener estadísticas que cuantifiquen el cambio como porcentajes, matrices de cambio y matrices de confusión para comprobar la bondad de los resultados (HOWARTH Y WICKARE, 1981).

WEISMILLER et al. (1977) utilizan este método para verificar el resultado del resto de técnicas utilizadas en su trabajo (sustracción y clasificación de una imagen multitemporal).

Los autores determinan, en una zona costera urbanizada, seis categorías ecológicas, a partir de las clases espectrales analizadas para dos imágenes de 1972 y 1974, de las que extraen 11 clases de cambio/no cambio, sin hacer referencia al porcentaje de exactitud alcanzado por la clasificación.

MARTIN (1989) utiliza un clasificador de máxima verosimilitud en la comparación visual de tres imágenes Landsat MSS y seis categorías de ocupación del suelo (tres clases de transformación del espacio rural a urbano y tres clases de no conversión). El porcentaje de exactitud en la detección de cambios se eleva a un 91,7% entre las dos primeras fechas y es de un 90% entre las dos últimas fechas. Los autores consideran que la técnica sobrepasa el umbral de error permitido y puede ser considerada válida para el control de la expansión del espacio urbano.

En un estudio de características similares, pero utilizando imágenes SPOT XS, el porcentaje de confianza en la detección de cambios baja a un 37,7% (MARTIN Y HOWARTH, 1989). Los mayores errores se producen en la asignación de categorías residenciales y comerciales/industriales a zonas que en realidad permanecían como espacios no urbanizados.

Como se puede apreciar por la disparidad de los resultados entre estos dos trabajos la eficacia de este método depende, en buena medida, de la fiabilidad de las clasificaciones y los pasos previos a éstas (elección adecuada del sensor y fecha de toma de la imagen, elección del algoritmo clasificador, etc.).

2. Clasificación de una imagen multitemporal

Esta técnica detecta los cambios a partir de una única clasificación obtenida mediante la interpretación de una combinación de imágenes.

El método presenta la ventaja de requerir una única clasificación, pero con el inconveniente de ser muy compleja junto con el hecho de la redundancia de la información que se produce si se utilizan todas las bandas (JENSEN, 1986).

WEISMILLER et al. (1977) utilizan este método con una clasificación supervisada, determinando umbrales de cambio/no cambio a partir de las estadísticas generadas. Identifican 52 clases espectrales que se ven reducidas a 5 clases informacionales. En el mismo estudio, pero utilizando un clasificador en árbol, se obtuvieron 47 clases espectrales y 18 clases informacionales, de las que 10 eran clases de cambio. Los autores señalan para ambas aproximaciones su complejidad y las relegan ante la comparación de clasificaciones independientes.

MARTIN (1989), utilizando un clasificador de máxima verosimilitud y 6 categorías de información (3 de ellas indicando cambio), obtiene un porcentaje de exactitud del 70,2%.

En otro estudio (MARTIN Y HOWARTH, 1989), con un clasificador semejante, y con 8 categorías se señala una estimación de la exactitud en la detección de las transformaciones de un 59,6%.

4.2.3 Discusión

Al planificar un estudio sobre las transformaciones del paisaje mediante teledetección hay que plantearse algunas cuestiones previas.

Es necesario en este tipo de aplicaciones un buen conocimiento del área de estudio, tanto en sus aspectos morfológicos como sociales y del modelo económico al que se circunscribe, así como de su historia cercana. Este conocimiento será vital en la elección de

los aniversarios del análisis, o período que se va a analizar, y en todos los tratamientos posteriores de la información.

La elección de la técnica de detección de cambios y su entendimiento será también básico en los logros a obtener.

De los algoritmos analizados anteriormente se han seleccionado aquellos más significativos, especialmente los que ofrecían verificación de resultados, para su comparación, como se aprecia en el siguiente cuadro:

TÉCNICA	AUTOR	SENSOR	NºCLASES	%ACIERTO
SUSTRACCIÓN DE LOS NIVELES DIGITALES	Weismiller et al., 1977	MSS	7	-
	Jensen y Toll, 1982	MSS	-	77,0
RATIO	Todd, 1977	MSS	-	91,4
A.C.P.	Martin, 1989	MSS	-	76,0
ANÁLISIS VISUAL DE DOS IMÁGENES	Martin y Howarth, 1989	SPOT XS	8	78,9* 62,3+
INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES MULTITEMPORALES	Martin, 1989	MSS	-	53,1
	Martin y Howarth, 1989	SPOT XS	8	59,9* 32,5+
COMPARACIÓN DE IMÁGENES CLASIFICADAS	Weismiller et al., 1977	MSS	6	90,8
	Martin, 1989	MSS	6	57,5*
	Martin y Howarth, 1989	SPOT XS	8	37,7+
CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES MULTITEMPORALES	Martin, 1989	MSS	6	70,2
	Martin y Howarth, 1989	SPOT XS	8	79,9* 59,6+

*: % de exactitud total

+: % de exactitud de las clases de cambio

CUADRO 4.1: Comparación de técnicas de detección de cambios mediante teledetección.

Los algoritmos empleados para realizar las imágenes tienen como finalidad la detección de las áreas que han sufrido transformaciones, pero no determinan la naturaleza de esos cambios. La creación de un mapa de áreas que han sufrido transformaciones no es excesivamente complicado aplicando algoritmos como la sustracción de niveles digitales o el cociente entre bandas a dos imágenes de un mismo área y de fecha diferente.

Al requerir este tipo de técnicas un menor conocimiento del terreno, y al ser el tratamiento de la información más rápido, pueden ser de gran utilidad en las primeras fases

de un análisis más complejo o en el seguimiento de áreas remotas o zonas donde los cambios presentan una gran extensión (como los incendios en áreas tropicales). Estas mismas afirmaciones son válidas en el caso de áreas de difícil acceso por otros medios que no sean las imágenes o la fotografía aérea. DWIVEDI y RAVI SANKAR (1991) analizan, de esta forma, la dinámica de cultivos itinerantes mediante rozas utilizando imágenes Landsat MSS.

Los realces digitales de la imagen son también muy útiles en áreas de gran complejidad espectral, como es el caso de los espacios urbanos (HOWARTH Y BOASSON, 1983).

Dentro de este grupo de técnicas merece una significación especial el análisis de componentes principales, como una metodología adecuada en la reducción de la dimensionalidad de los datos empleados.

En todos los casos, estas técnicas pueden ser utilizadas para detectar los cambios en una primera etapa, aplicando posteriormente algoritmos que posibiliten la identificación de esos cambios.

Las técnicas presentadas en el cuadro 4.1 no logran altos porcentajes de exactitud, a lo que se une que no consiguen resultados aceptables en la correcta identificación de las categorías dinámicas, por lo que los logros aparecen sesgados. Asimismo, el número de clases informacionales obtenidas puede resultar insuficiente en áreas de gran heterogeneidad como son los espacios metropolitanos analizados en estos trabajos.

La técnica que obtiene un mayor porcentaje de exactitud es la comparación de dos imágenes clasificadas MSS, el 90,85 (MARTIN, 1989). En cambio, en el trabajo realizado por MARTIN y HOWARTH (1989), empleando SPOT XS y de similares características, el porcentaje de esta técnica es el menos exacto de los analizados. Esta variación entre dos investigaciones tan similares puede deberse a que la fiabilidad global de este método depende de la bondad de las clasificaciones independientes (familiaridad con el área de estudio, empleo de los algoritmos adecuados, etc.).

Los porcentajes de exactitud son menores en la clasificación de una imagen multitemporal, a lo que se une la complejidad de esta técnica.

En cuanto al sensor más adecuado para analizar las transformaciones dependerá de los objetivos y de la técnica a emplear. En un análisis visual de dos o más imágenes de fecha diferente el más adecuado será el que ofrezca una mayor resolución espacial. Pero,

al mismo tiempo, esta mayor resolución, determinará, en áreas de fuerte heterogeneidad, una mayor variabilidad espectral que complicará enormemente los métodos que emplean clasificaciones digitales.

En la mayoría de los métodos la fiabilidad aumentará considerablemente mediante el empleo previo de realces, la combinación de diversas técnicas o la utilización de clasificadores más precisos (LEE Y RICHARDS, 1985; HILL Y STURM, 1991).

A modo de conclusión se pueden indicar una serie de pasos que han de seguirse al realizar un estudio de dinámica espacial mediante teledetección:

- Elección del área de estudio, presumiblemente un espacio dinámico a corto plazo.
- Conocimiento del área de estudio, tanto en sus aspectos ecológicos como culturales.
- Determinación de los aniversarios o período que se va a analizar teniendo en cuenta la dinámica del área.
- Elección de las fuentes de información: sensor o sensores a utilizar, imágenes analógicas o digitales, fotografía aérea e informaciones y herramientas adicionales necesarias.
- Correcciones geométricas y radiométricas de las imágenes de satélite, si se utiliza tratamiento digital o se pretenden generar ortoimágenes.
- Aplicación de algoritmos que detecten los cambios o transformaciones o realces de la imagen, si se utilizan técnicas digitales.
- Elección de la técnica a emplear para determinar la naturaleza de las divergencias (análisis visual, comparación de clasificaciones, imágenes, imágenes multitemporales), dependiendo de la zona de trabajo y del sensor o método utilizado.
- Verificación de los resultados.
- Realización de una cartografía de cambios.
- Cuantificación de los resultados: porcentajes, matrices de cambios, etc.

En nuestro estudio, ante los resultados obtenidos por los diversos métodos de detección de cambios, se ha optado por la comparación de clasificaciones como metodología más adecuada. La elección de un tratamiento digital o la interpretación de ortoimágenes

espaciales se realizará comparando ambos sistemas para nuestro área de estudio, como veremos en el Capítulo 6.

4.3 La organización de la información temporal

La entrada y manipulación de los datos y su conversión en información temporal en nuestro modelo sigue los tres pasos básicos en todo sistema de información: entrada de los datos, organización de los mismos y su manipulación.

4.3.1 Entrada de los datos

Las fuentes de información espacial para la obtención de datos sobre cambios espaciales pueden agruparse según la siguiente tabla:

Analógicos	Mapas temáticos Fotografías aéreas Ortoimágenes espaciales
Digitales	Imágenes de satélite digitales Modelos digitales del terreno Bases de datos

Fig. 4.9: *Obtención de datos sobre cambio ambiental.*

Estos diferentes soportes de la información presentan 4 tipos de datos espaciales, atendiendo a su dimensionalidad (CEBRIÁN, 1988; CEBRIÁN, 1994; TOMLIN, 1990):

- a) **Datos puntuales:** los datos puntuales son 0-dimensionales y se encuentran generalmente representados por puntos. En un mapa convencional pueden indicar, por ejemplo, pozos de agua, edificaciones, pueblos o elementos con una extensión vertical (como pozos de petróleo).

- b) **Datos lineales:** datos unidimensionales que se refieren a entidades lineales que no tienen representación superficial a una escala determinada.
- c) **Datos superficiales:** datos bidimensionales que se corresponden con particiones del espacio (unidades administrativas, zonas homogéneas según un determinado atributo, etc.). Los datos superficiales surgirán como consecuencia de la división en regiones (tipos de ocupación del suelo) de una superficie continua (el área a estudiar).
- d) **Volúmenes:** superficie tridimensional en la que cada punto cartográfico está asociado a una tercera dimensión (la altura), perpendicular al plano cartográfico. Como ejemplo podemos señalar los modelos digitales del terreno o modelos de elevación digitales (BURROUGH, 1986).

La estructura de los datos a emplear en un SIG temporal sobre cambio ambiental puede ser de dos formas: vectorial y raster (ARONOFF, 1989; BOSQUE SENDRA, 1992; BURROUGH, 1986; CEBRIÁN Y MARK, 1986).

- a) **Modelo raster o teselar:** suponen la división del espacio en elementos discretos regulares denominados teselas o celdillas, que, generalmente, constituyen una única región y poseen un único atributo. El método más frecuente para almacenar este tipo de datos se denomina *quadtrees*, basado en la sucesiva subdivisión cuadrangular de teselas en una estructura en árbol.

Las imágenes de satélite presentan una estructura teselar en la que la unidad mínima sería el píxel o elemento mínimo de representación.

- b) **Modelo vectorial:** supone un espacio geográfico continuo dividido en unidades discretas mediante fronteras (líneas que delimitan regiones o polígonos) que cuando confluyen determinan nodos. El sistema más común de almacenamiento se apoya en el modelo topológico, en las relaciones entre elementos puntuales, lineales y superficiales o polígonos.

Los datos temporales con carácter espacial pueden ser estructurados tanto en modelos de celdas como en modelos vectoriales (LANGRAN, 1992).

En un modelo de celdas la dimensión temporal se representa mediante la sucesión de estructuras teselares, en una concepción del tiempo en secuencias de estados. Como muestra, podemos realizar una representación teselar de los ejemplos planteados en el capítulo anterior para indicar las diferentes concepciones del tiempo cartográfico, como presenta la figura 4.10.

En un modelo vectorial los diferentes objetos (en nuestro caso elementos superficiales) se relacionan mediante un modelo topológico de líneas, nodos y cadenas que determinan polígonos asociados a atributos. En el ejemplo de la figura 4.11 tenemos una representación del modelo vectorial a partir de una variación de estados para llegar a una composición espacio-temporal final. De esta forma podemos localizar cada objeto en su tiempo determinado, así como las versiones que le han precedido o sustituido, sin tener que seguir toda una serie temporal, como es el caso de la secuencia de estados.

Las diferentes fuentes de información (mapas temáticos convencionales, fotografías aéreas, mapas generados a partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite analógicas o imágenes digitales) pueden ser incorporadas al sistema de formas diversas.

Las imágenes de satélite digitales o los productos raster generados pueden ser incorporadas directamente a un SIG de carácter teselar.

En un modelo raster la digitalización consiste en la superposición de una malla regular a la imagen original. La localización espacial de cada tesela (con un valor único o ponderado, como es el caso de las imágenes de satélite) se deriva de su posición en la malla con respecto a un punto indicador, generalmente el vértice superior izquierdo (CEBRIÁN, 1988).

En el caso de imágenes de satélite digitales, así como de sus productos derivados, no será necesaria la superposición de esta malla ya que las imágenes son, en origen, estructurales teselares. Como ejemplo, una escena SPOT XS (multibanda), que cubre una superficie de 60X60 Kms., consta de 9.000.000 de celdillas o píxeles con una resolución de 20X20 metros.

ESTRUCTURA DE LOS DATOS

MODELO RASTER

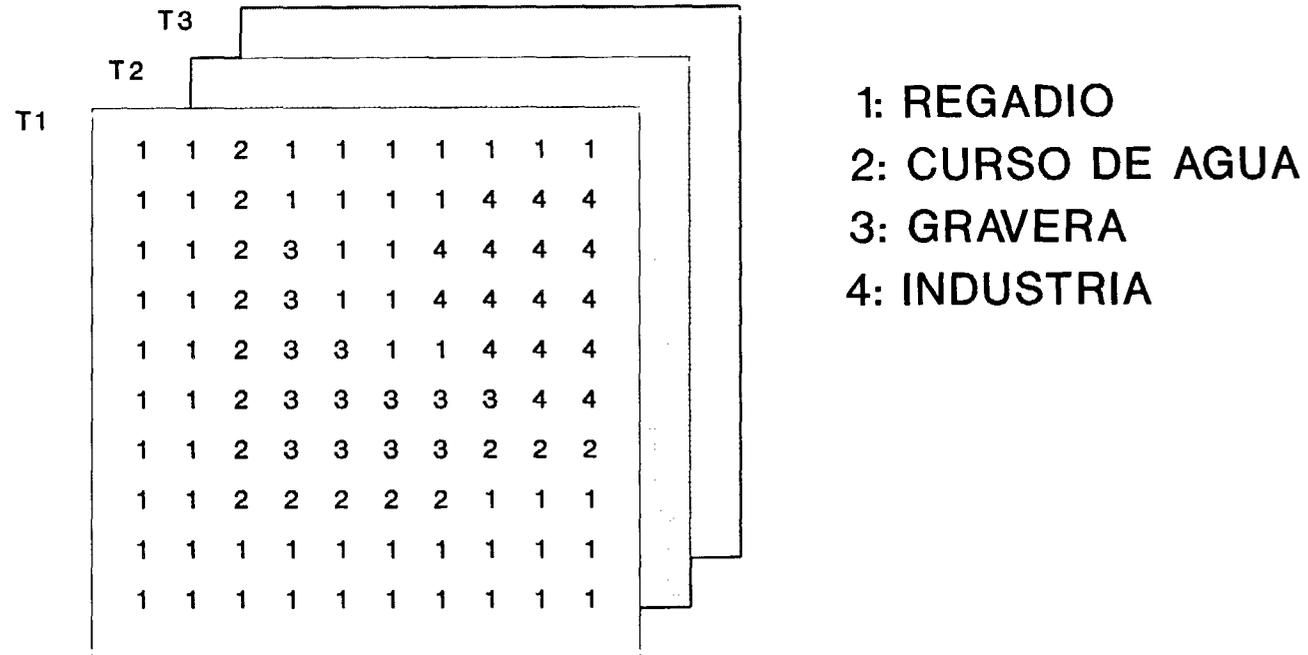
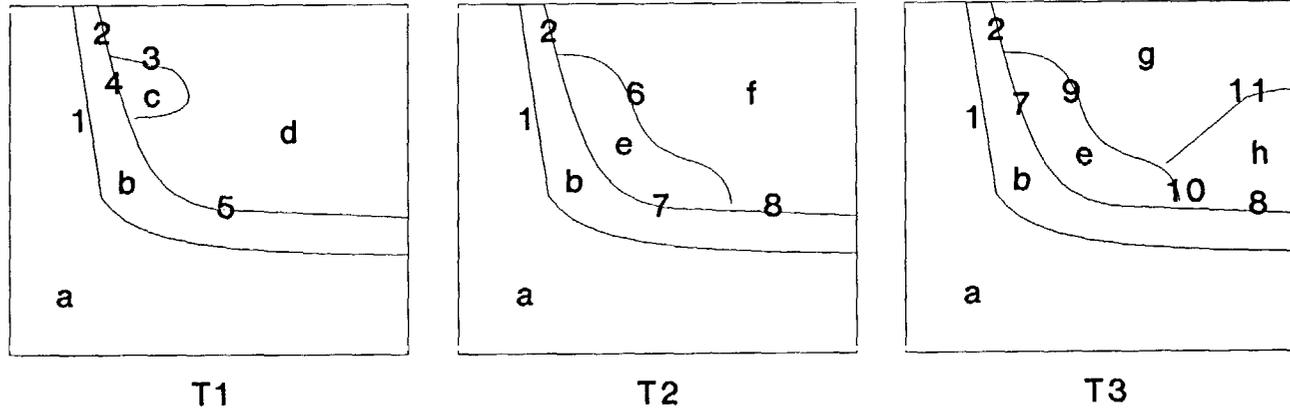


Fig. 4.10

ESTRUCTURA DE LOS DATOS

MODELO VECTORIAL



ARCOS T3

	T1	T2	T3
1:	1		
2:	2		
7:	4/5	7	
8:	5	8	
9:	3	6	9
10:		6	10
11:			11

POLIGONOS T3

	T1	T2	T3
a: regadío	→		
b: curso de agua	→		
e: regadío gravera	→		
g: regadío	→		
h: regadío industrial	→		

Fig. 4.11
(Adaptado de Langran, 1992)

En el caso de los mapas temáticos o la cartografía obtenida a partir de fotointerpretación pueden incorporarse al sistema mediante la digitalización vectorial, con un proceso más elaborado. En este tipo de sistemas los elementos de un mapa se agrupan en puntos, líneas y superficies.

La descripción del mapa se obtiene, de esta forma, indicando cada cadena o línea entre nodos, la frontera entre los diferentes polígonos y las relaciones de las diferentes cadenas con los nodos que la delimitan (CEBRIÁN, 1988). De esta manera habremos establecido las relaciones entre los elementos del mapa o, lo que es lo mismo, habremos determinado una topología.

En el proceso de digitalización vectorial hay que tener en cuenta diversos aspectos como la corrección de errores (frecuentes cuando se maneja un gran volumen de datos); la corrección del etiquetado (la asignación correcta de cada atributo a su polígono correspondiente) o la coherencia de los datos. En un sistema en el que se presentan diversos estados temporales en lugar de diferentes atributos espaciales de un mismo lugar es necesario extremar los controles de calidad.

En el caso de la digitalización vectorial es necesario que cada versión (capa temporal) guarde una correcta coherencia con la anterior y la posterior ya que, de lo contrario, obtendríamos unos resultados sobre el cambio enormemente sesgados por los errores de la digitalización.

La digitalización puede realizarse mediante diversos instrumentos: mesas digitalizadoras, scanners o vídeos, aunque el más común, en estos momentos, es el primero.

En muchos casos será necesaria la conversión del formato de los datos como, por ejemplo, cuando deseemos combinar información obtenida de la interpretación visual de una fotografía aérea con la clasificación de una imagen de satélite digital. En estos casos serán necesarios diversos procedimientos para convertir la información raster en vectorial o la vectorial en raster (STAR Y ESTES, 1990).

4.3.2 Organización y manipulación de los datos

Una vez introducidos los datos en el sistema es necesario estructurarlos y realizar análisis integrando los elementos espaciales (en nuestro caso espacio-temporales) y los diversos atributos.

En cuanto a la organización de los datos en el sistema podemos seguir las ideas de LANGRAN (1992) respecto a una estructura agregada o composición espacio-temporal.

La composición espacio-temporal o agregación de diferentes eventos puede materializarse empleando los conceptos de variación de estados y el de *overlay* o superposición de capas. El concepto de *overlay* (BURROUGH, 1986) se basa en que el mundo real se descompone en una serie de capas cartográficas que capturan una única dimensión de esa realidad (topografía, hidrografía, usos del suelo, hábitat, etc.). Si utilizamos un diagrama con dos coordenadas espaciales, una de ellas en perspectiva (Fig. 4.12), obtenemos una representación bidimensional del espacio, que puede ser descompuesto según sus diferentes atributos en una serie de estratos.

Representando en las diferentes capas la dimensión temporal conseguimos una estructura en la que cada cobertura hace referencia a la situación o estado de ese territorio en un tiempo determinado. Este libro sería un buen ejemplo de la división del espacio en estratos temporales. El texto puede ser considerado como un vector formado por diferentes mapas superpuestos (las hojas) generalizados en apartados, capítulos y partes.

En el ejemplo propuesto, siguiendo con el proceso de cambio en un área metropolitana, los datos espacio-temporales son introducidos en el sistema a partir de la configuración del estado del primer aniversario elegido (t_1). A continuación se digitalizan los eventos, los cambios, partiendo de una concepción del tiempo cartográfico como variación de estados, o los diferentes estados, dependiendo de las características de los datos y la finalidad del estudio. La unión de las diferentes coberturas dará lugar a una composición espacio-temporal que integra los diversos estados.

Al mismo tiempo, es necesario estructurar los atributos, con tablas que recojan el carácter de la variación entre los diferentes aniversarios.

Una vez organizada la información en el sistema hay que realizar procesos de manipulación y análisis de la información temporal.

LA ORGANIZACION DE LA INFORMACION TEMPORAL

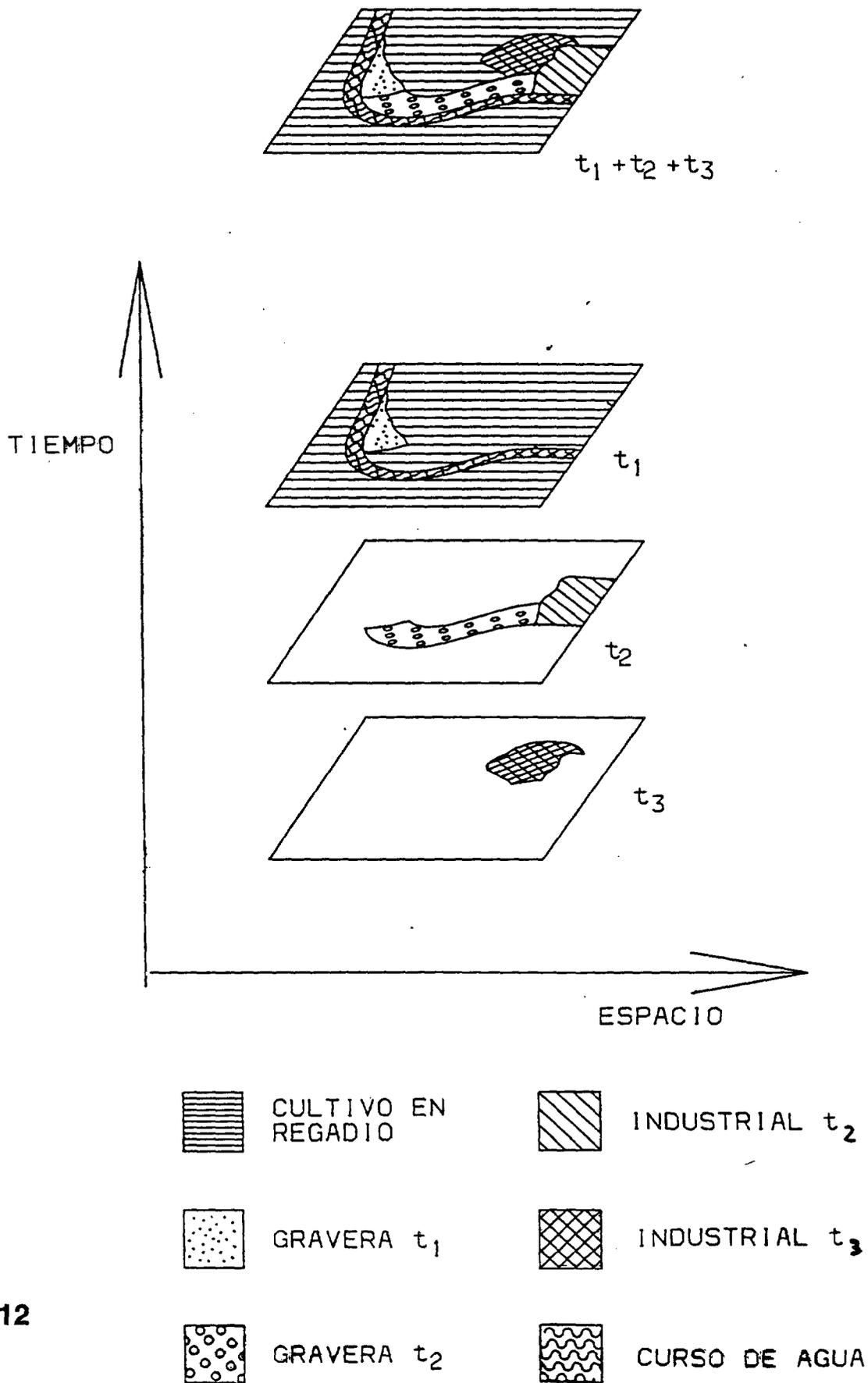


Fig. 4.12

Entre los primeros hay que destacar los mecanismos de control de errores, que en este tipo de trabajos en donde se maneja información que puede dar lugar a confusiones, son básicos en los resultados finales. El control de calidad es intrínseco al sistema, ya que al superponer dos estados se detectan los errores por incongruencia de los datos.

En cuanto al análisis de la información hay que determinar una forma de acceso a los datos espacio-temporales.

Las diferentes formas de acceder a los datos (LANGRAN, 1992) han de contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué ha cambiado?
- ¿Cuánto ha cambiado?
- ¿Cuál era el estado del tiempo t?

De esta forma debemos obtener estadísticas tanto estáticas (¿cuál era el estado en un momento determinado?) como dinámicas (¿qué ha cambiado del tiempo t al t + 1?) así como clasificaciones (¿cuál ha sido el área de más cambio?).

PEUQUET (1994) presenta un modelo de organización y manipulación de datos no sólo basado en los hechos geográficos y su ubicación en el espacio-tiempo, sino también en los procesos, en las múltiples causas que modifican los objetos geográficos a lo largo del tiempo. Su modelo o "estructura en triada" (Fig. 4.13) se basa en que la información puede ser almacenada según su localización (dónde), el tipo de objeto (qué) y su ubicación temporal (cuándo). A partir de esta triada se pueden desarrollar las siguientes cuestiones:

- a) **CUÁNDO+DÓNDE = QUÉ**: los objetos que se encuentran en un lugar en un momento determinado.
- b) **CUÁNDO+QUÉ = DÓNDE**: la localización de los objetos en un tiempo determinado.
- c) **DÓNDE+QUÉ = CUÁNDO**: el tiempo en el que los objetos se encuentran en una localización determinada.

LA ESTRUCTURA ESPACIO-TEMPORAL EN TRIADA (SEGUN PEUQUET, 1994)

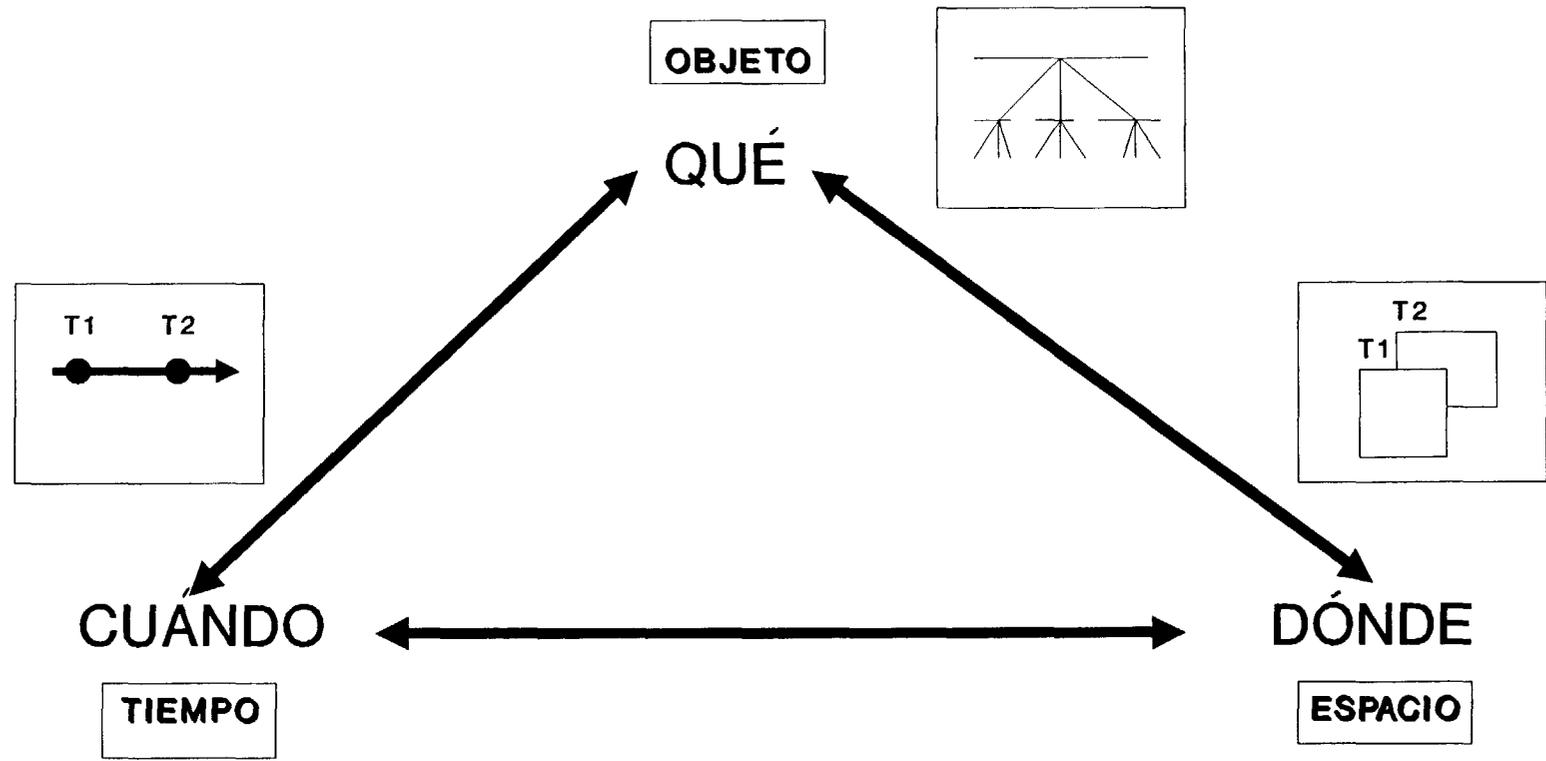


Fig. 4.13

La triada se basa en tres tipos de representaciones: la espacial, la temporal y la basada en los objetos y cada una presenta una estructura diferenciada.

La representación espacial puede estructurarse en un espacio objetivo, un espacio geométrico (una estructura raster); los objetos se encontrarían en un espacio subjetivo (una estructura vectorial en la que se representarían los objetos y sus relaciones) y el tiempo se ubicaría en un vector que alinearía una secuencia de eventos.

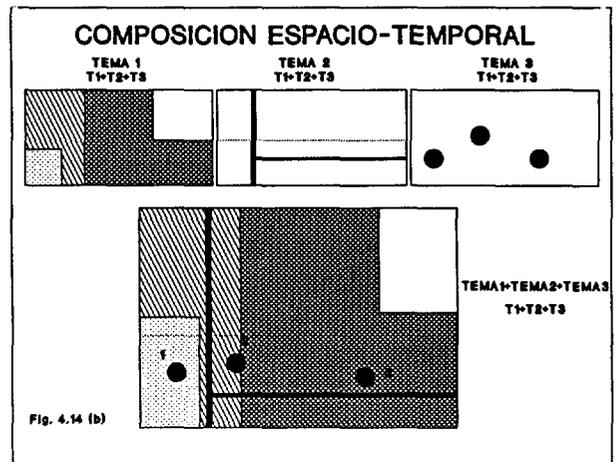
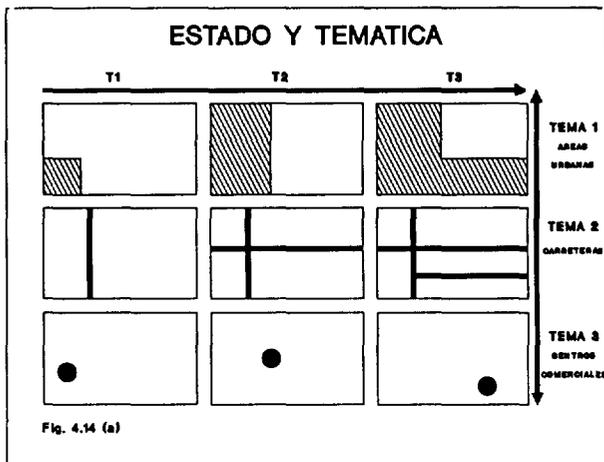
Siguiendo las ideas de Langran y Peuquet podemos desarrollar nuestra propia estructura (*estructura estado-tema*) que organice y manipule datos espacio-temporales basándose tanto en los estados temporales (conjunto de objetos en un tiempo y en un lugar determinado) y la temática (las diferentes variables en las que podemos descomponer los procesos).

La figura 4.14 (a) representa esta estructura aplicada a un ejemplo en el que interactúan sobre un espacio determinado y a lo largo del tiempo tres estados temporales y otros tantos temas diferentes (la expansión de un área residencial de una ciudad, el trazado de nuevas vías de comunicación y la ubicación de hipermercados).

La superposición de los diferentes estados según su temática producirá tres composiciones espacio-temporales (Fig. 4.14 (b)) que se completarán si realizamos una única composición de las tres variables para el conjunto del período analizado. De esta forma, tenemos organizada la información tanto por temática (podemos realizar operaciones sobre los objetos según relaciones con los demás temas) como podemos investigar diferentes procesos a partir de una serie de variables (relaciones entre los temas).

Una vez organizados tanto los datos espaciales como los atributos según una estructura estado-tema, podemos realizar operaciones sobre esos objetos espacio-temporales basándonos en su localización, sus atributos y su dimensión temporal (Fig. 4.14(c)).

a) Operaciones basadas en la dimensión temporal:



OPERACIONES SOBRE OBJETOS ESPACIO-TEMPORALES

TIEMPO	LOCALIZACION	OBJETO
<p>•PASADO (DESCRIBIR EVENTOS)</p> <p>•PRESENTE (ANALIZAR ESTADOS ACTUALES)</p> <p>•FUTURO (EVALUAR EL PASADO) (TOMAR DECISIONES)</p>	<p>•SUPERPOSICION DE ESTADOS</p> <p>•DISTANCIAS -PROXIMIDAD -CAMINOS MINIMOS -AREAS DE INFLUENCIA</p> <p>•MEDIDAS ESPACIALES</p> <p>•GENERALIZACION -OPERACIONES ZONALES</p>	<p>•OPERACIONES RELACIONALES</p> <p>•OPERACIONES ARITMETICAS</p> <p>•OPERACIONES BOOLEANAS</p>

Fig. 4.14 (c)

Siguiendo las variaciones en el tiempo cartográfico que explicamos anteriormente (pasado, presente, futuro y condicional) en una estructura basada en el estado-tema se pueden plantear diversas cuestiones. En primer lugar, operaciones que tienen que ver con la distancia entre los objetos (en este caso su equivalente temporal que es la duración), como ¿se ha producido un cambio en el área residencial del T1 al T2?.

En segundo lugar, operaciones que tienen que ver con el tiempo cartográfico del objeto: ¿qué carreteras había en el T1 (pasado); ¿qué hipermercados se encuentran cerca de un cruce de carreteras? (presente); ¿cuál será el trazado viario en el futuro? (futuro) y ¿es conveniente situar un nuevo hipermercado en el punto x,y? (condicional).

b) Operaciones basadas en la localización:

Tomando como base la composición espacio-temporal tanto por estado como por temas podemos realizar una serie de operaciones basadas en la ubicación espacial de los objetos. La propia generación de esta composición espacio-temporal a partir de diferentes estados es una operación espacial, en este caso utilizando un operador booleano del siguiente tipo: "selecciona los objetos que en el T1 eran residenciales y en el T2 también y codifícalos sin cambio".

También podemos realizar otro tipo de operaciones actuando sobre la estructura espacial como la medición de distancias: proximidad o buffer (¿a qué distancia se encuentran los hipermercados de los cruces de carretera?); caminos mínimos (¿cómo se podría llegar en el tiempo más corto del punto x,y al hipermercado 1?) o áreas de influencia (¿qué área residencial abastece el hipermercado 3?).

Otro tipo de operaciones son medidas simples como superficies o longitudes.

Finalmente, se pueden realizar generalizaciones u operaciones zonales en las que clasifiquemos los objetos espacio-temporales según unas determinadas características.

c) Operaciones basadas en los objetos:

Aunque cuando hablamos de las operaciones basadas en el tiempo ya hicimos referencia a operaciones que tienen que ver con los objetos, las operaciones que actúan sobre

los atributos se pueden sistematizar en operaciones relacionales ($<$, $>$, $=$), aritméticas (+, -, *) o booleanas (AND, OR, NOT), tendentes todas ellas a actuar sobre procesos o utilizadas para la actualización de bases de datos (LANGRAN, 1993; PRICE, 1989).

Las operaciones relacionales (PEUQUET, 1994) pueden basarse en la linealidad temporal que permite ubicar un objeto entre dos hechos ($<$ $>$) o "seleccióname las áreas residenciales y las carreteras antes de la ubicación del hipermercado 2".

Las operaciones relacionales nos permiten realizar consultas tales como cocientes, sumas, restas u otras operaciones aritméticas.

Por último, podemos utilizar operadores booleanos que posibiliten hacer preguntas como "selecciona la ubicación de los hipermercados entre el T1 y el T3 teniendo en cuenta la proximidad de un área residencial y/o un cruce de carreteras".

4.4 Cartografía temporal o ¿cómo representar el cambio ambiental?

Con respecto a la cartografía temporal podemos iniciar su análisis con una serie de interrogantes:

- ¿Se pueden representar los cambios espaciales?.
- ¿El mapa es una dimensión válida para reflejar la dimensión temporal del espacio?.
- ¿Se puede llegar a diseñar un mapa espacio-temporal?.
- ¿Es posible recrear diferentes estados de un lugar en un sólo documento?.
- ¿Las nuevas tecnologías pueden sustituir en este campo a la cartografía tradicional sobre papel?.

Se pueden apuntar algunos esquemas que contesten a estas preguntas analizando el estado de la cuestión en la representación de los cambios espaciales referidos a la ocupación del suelo. Para ello podemos realizar una clasificación de los diferentes métodos de representar cartográficamente el cambio:

Métodos estáticos	Secuencias de mapas Secuencias de fotografías, fotografías aéreas o imágenes de satélite
Métodos dinámicos	Mapas de cambio o composiciones espacio-temporales Animaciones visuales Sistemas multimedia

Fig. 4.15: *Métodos de representación del cambio.*

4.4.1 Secuencias

La presentación de diversos textos gráficos de un mismo lugar en fechas diferentes puede ser considerado como el método tradicional de reflejar los cambios de los hechos geográficos.

Esta forma de representación coincide con la concepción del tiempo cartográfico en secuencia de estados. Cada texto gráfico representa, individualmente, el estado de un lugar en un momento concreto.

Ese estado puede ser representado mediante cuatro textos diferentes: mapas convencionales, fotografías, fotografías aéreas o imágenes de satélite.

La secuencia de mapas es el método tradicional de representación de cambios. Partiendo de un estado o aniversario inicial se suceden los diversos estados de ese mismo lugar en los siguientes aniversarios elegidos. Se trata, por tanto, de una representación espacial en la que cada estado refleja un momento determinado, y no una composición en la que aparezca la cuarta dimensión, o sea, el tiempo.

Al realizar un estudio de las transformaciones del paisaje mediante secuencias de mapas se eligen una serie de aniversarios, o acotamiento temporal, y se interpreta la situación de ese espacio en esos momentos determinados. De esta forma, logramos una secuencia cartográfica o representación independiente de diversos estados. El método consiste en determinar la configuración de las diversas entidades para cada fecha.

Evidentemente, una entidad homogénea en el estado final (por ejemplo un pastizal en un mapa de usos del suelo) puede no serlo al tener en cuenta su historia: tendremos

pastizales con una duración desde el estado A al B y pastizales que se ha generado por el abandono de cultivos en el estado A.

Básicamente esta es la metodología empleada en un estudio sobre evolución del paisaje en Andalucía occidental (JUNTA DE ANDALUCÍA, 1985). Mediante la interpretación de fotografía aérea convencional se llega a 3 mapas de ocupación del suelo (1956, 1973 y 1977) y 4 mapas temáticos sobre la historia de diversos usos (olivar, tierras de labor, cítricos y frutales y hábitat y vías de comunicación).

El método de determinar la historia no de todas las entidades o unidades en que podemos dividir un territorio, sino de algunas o de una evolución determinada, ha sido utilizada por diversos autores como, por ejemplo, "tierras de cultivo abandonadas" (LASANTA, 1989) o "zonas de impacto" (LASANTA et al., 1989).

Las fotografías convencionales también son usadas para mostrar el cambio. Evidentemente no son consideradas como "científicas", sino como representaciones artísticas o estéticas. Este método es comunmente utilizado en publicidad, especialmente en proyectos urbanísticos (el estado de un lugar antes de una actuación y después de ella). La realización de vídeos siguiendo este sistema sería una variante más de este método.

Las fotografías aéreas y las imágenes de satélite constituyen también textos gráficos utilizados en la representación del cambio ambiental. La secuencia de fotografías aéreas o imágenes de satélite presenta las mismas características que la utilización de mapas, especialmente cuando las dos primeras han pasado por un proceso de corrección geométrica.

La representación de los cambios mediante secuencias presenta diversos inconvenientes. El principal es de manejo de la información: cada estado está representado en un único texto gráfico por lo que en estudios de series largas estos documentos se multiplican hasta no hacerlos operativos. Además es difícil determinar la historia de un hecho geográfico, al estar representado cada evento o cada cambio en un documento diferente.

4.4.2 Mapas de cambio o composiciones espacio-temporales

Para evitar algunos de los inconvenientes mencionados anteriormente se utilizan mapas dinámicos. En estas representaciones en el mapa ya aparece la dimensión temporal.

Este tipo de representaciones pueden ser divididas según su estructura: teselares y en mapas de entidades irregulares.

La primera es la representación de divergencias espaciales mediante la utilización de una malla, una retícula o un conjunto de teselas o celdillas. Una vez cartografiado un espacio concreto en los diferentes aniversarios establecidos se le superpone a los documentos obtenidos una retícula, con la forma geométrica y las dimensiones que más nos convengan, y se determina el cambio en cada unidad espacial básica. El siguiente paso es determinar el camino o la historia de cada entidad en el tiempo, cartografiarla y cuantificarla. Es un sistema utilizado preferentemente para cuantificar el cambio de usos del suelo más que con una finalidad cartográfica (ALGUACIL GARCIA, 1983) ya que, como señala VISVALINGAM (1991), la teselación permite una estructura estable en el análisis del cambio.

Como estructuras teselares en la representación del cambio también pueden ser consideradas las imágenes de satélite. Éstas, al tener la misma estructura formada por píxeles, pueden ser superpuestas (superponemos matrices de la misma configuración) y determinarse el cambio en cada unidad mínima, tesela o píxel. A continuación se identifican los cambios detectados, se les asigna una cartela y se elabora una imagen en pantalla, una fotografía del monitor o una imagen corregida en papel o soporte fotográfico.

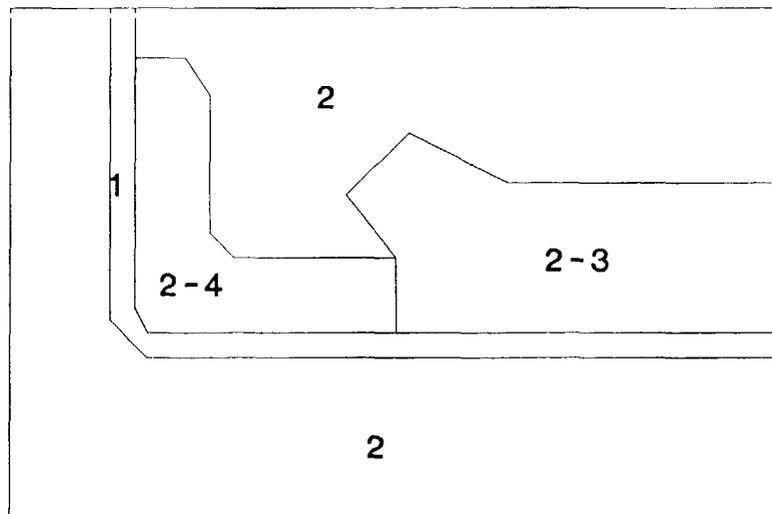
La representación mediante mapas de entidades irregulares puede subdividirse en mapas con cartela estática y mapas con cartela dinámica.

En el primer tipo, en la leyenda del mapa aparece la situación del estado final de la entidad unido a un código que representa el atributo; en la cartografía las unidades divergentes aparecen con un primer código referente a su situación en el estado A y un segundo código con la situación en el estado B. En el ejemplo de la figura 4.16 la entidad codificada como 2-3 era en el estado A una zona de cultivos en regadío pasando en el estado B a un área industrial. Como se puede apreciar este sistema únicamente es válido cuando tenemos 2 o, a lo sumo, 3 aniversarios a comparar.

Una muestra de este tipo de mapas la tenemos en el "Mapa de Cambio del Uso del Suelo, 1970-1972" realizado por el *U.S. Geological Survey* (ANDERSON, 1977).

CARTOGRAFIA TEMPORAL

CARTELA ESTATICA



- 1: CURSO DE AGUA
- 2: CULTIVOS EN REGADIO
- 3: INDUSTRIAL
- 4: GRAVERA

Fig. 4.16

En otros mapas la leyenda es dinámica o mixta, describiéndonos ésta la historia de la unidad cartografiada (Fig. 4.17).

DÍAZ MUÑOZ (1984) utiliza una clasificación de usos del suelo dividida en usos estables (aquellos que permanecen desde el estado inicial al final) y usos dinámicos ("campos de cultivo a pastos", "campos de cultivo abandonados con matorral" o "praderas con árboles evolucionando a bosques"), aunque este tipo de métodos suelen ser excesivamente localistas.

En otros estudios los cambios se agrupan en diversas unidades: "matorralización", "sin evolución", "eliminación del matorral" y "otras evoluciones" (JUNTA DE ANDALUCÍA-CASA DE VELÁZQUEZ, 1986).

Esta metodología nos responde a algunos interrogantes planteados más arriba sobre la información temporal: sabemos la trayectoria de una entidad y cuál es la magnitud del cambio, sin embargo, no sabemos los diversos estados por los que ha pasado, no podemos preguntar por la situación de esa entidad en un tiempo determinado.

4.4.3 Animaciones visuales

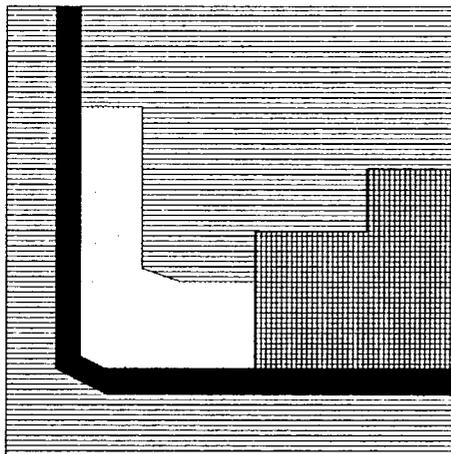
Las animaciones cartográficas pueden ser un sustituto de los mapas temáticos convencionales, al menos como instrumento didáctico, como han demostrado algunos trabajos (SLOCUM et al., 1990).

Una secuencia cartográfica presentada en el monitor de un ordenador o una pantalla de video puede tener la siguiente estructura (SLOCUM et al., 1990):

- Título del mapa.
- Base cartográfica.
- Título de la leyenda.
- Clases de la leyenda.
- Distribución geográfica de las diferentes clases.

CARTOGRAFIA TEMPORAL

CARTELA DINAMICA



USOS ESTABLES



REGADIO



CURSO DE AGUA



REGADIOS A GRAVERA

USOS DINAMICOS



REGADIOS A INDUSTRIAL

Fig. 4.17 (A partir de DIAZ MUÑOZ, 1984)

En lugar de ser presentado el mapa en un documento rígido y estático como es el papel, el método de la secuencia cartográfica puede ser definido como la visualización de los diferentes elementos de un mapa en un orden particular, con un intervalo temporal entre la presentación de los diversos elementos.

Estos mapas dinámicos pueden presentar una serie de características que los hagan más atractivos que los convencionales (MacEACHREN y DiBIASI, 1991): control de velocidad, parada para examinar detalles particulares, retroceso, ampliaciones, etc.. Esta técnica convierte el mapa en un texto gráfico flexible que permite un manejo más individualizado por parte de cada usuario, frente al modelo estándar de los mapas convencionales.

En un mapa de cambios la estructura de animación anteriormente propuesta es mucho más evidente. En lugar de que en el monitor aparezca la distribución geográfica de cada clase representada, aparece el estado de los aniversarios que hemos elegido. De esta forma pueden quedar contemplados todos los interrogantes que hacemos a la información temporal (¿qué, cómo, cuánto ha cambiado?), así como podemos reflejar toda la información en un sólo documento visual utilizando un procedimiento de superposición de capas.

4.4.4 Sistemas multimedia

Las formas de representar la realidad de un territorio en una época determinada no sólo se ciñen a mapas, fotografías aéreas o imágenes de satélite, sino que también abarcan fotografías convencionales, imágenes de video, gráficos, textos o, el sonido, en la denominada "audiocartografía" (MacEACHREN Y DiBIASI, 1991). Toda ella información muy diferente que puede ser incorporada al sistema mediante procedimientos multimedia, entendiendo por multimedia la integración informática de diferentes tipos de información en una misma estructura.

El principal problema de este tipo de trabajos es de implementación, tanto del hardware disponible como de los SIG comerciales que no disponen de este tipo de sistemas (PÉREZ RUY-DÍAZ, 1992).

La entrada de datos espaciales de carácter temporal al sistema puede realizarse mediante scanners o digitalización (fotografías aéreas, cartografía convencional o mapas

temáticos), digitalizar imágenes obtenidas mediante un video y almacenarlas o la integración de fotografías en el ordenador mediante fotografía digital. A esto se une la posibilidad de incorporar datos estadísticos, gráficos de procesos, textos y sonido.

Ninguno de los tres grandes métodos propuestos (cartografía convencional, animaciones o sistemas multimedia) puede ser rechazado, sino utilizado según los diferentes propósitos que busquemos.

Es indiscutible que el método más sencillo para reflejar el cambio es la utilización de una composición o mapa dinámico, ya sea utilizando cartografía temática o imágenes de satélite. La complicación de todos estos sistemas radica en conseguir una representación cartográfica clara, sencilla y útil:

- ¿Qué aniversarios elegir en la representación del cambio?.
- ¿Se deben de elegir más de dos aniversarios?.
- ¿Es útil utilizar una secuencia de mapas?.
- ¿Las composiciones presentan la suficiente sencillez para ser interpretadas?.
- ¿Las leyendas dinámicas no son excesivamente localistas?.

Aún con esta serie de preguntas los métodos convencionales de análisis de las transformaciones ambientales son básicos en un acercamiento previo a una problemática concreta o cuando únicamente pretendamos conocer los cambios.

Si pretendemos analizar, interpretar y obtener conclusiones sobre los cambios espaciales se hace necesario un instrumento más potente que nos permita manejar la ingente cantidad de datos que hemos obtenido, como es el caso de los sistemas de información geográfica y sus posibilidades estadísticas, gráficas y de análisis, complementados con la teledetección como fuente de información principal. Además de cuantificar los cambios con relativa rapidez, podemos cruzarlos con otro tipo de información ya sea de carácter social, económico o ecológico. De esta forma, habremos convertido datos temporales en información histórica o temporal de una enorme utilidad en la planificación territorial.

Asimismo, es posible que pretendamos preservar un paisaje concreto o mostrar su evolución con fines didácticos, por lo que hemos de utilizar otras metodologías. En áreas

de fuertes transformaciones surge la idea de preservar esos espacios, aunque sólo sea en imágenes, de conservar la historia de los paisajes al igual que preservamos el resto de nuestra historia.

Diversos datos y técnicas todas ellas encaminadas a un sólo propósito: representar el mundo cambiante en el que vivimos.

ABRIR PARTE SEGUNDA

