

Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa
Universidad de Zaragoza
1992, Zaragoza

CAMBIO AMBIENTAL, TELEDETECCION Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA TEMPORAL

Marino PALACIOS MORERA

Dpto. Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN.

El objetivo principal de este artículo es aplicar los avances de la teledetección y los sistemas de información geográfica a los estudios medioambientales y, más concretamente, al análisis de cambio ambiental.

Desde un punto de vista conceptual se presentan las dinámicas ambientales más significativas de nuestro entorno, se hace una reflexión sobre la información temporal y su relación con los datos espaciales y se desarrolla un modelo de SIG de carácter temporal, analizando la captación de datos mediante teledetección, la organización de la información y su representación.

ABSTRACT.

The main objective of this paper is to apply the advances of the remote sensing and the geographic information systems to the environmental change.

From a conceptual point of view we present the principal environmental dynamics of Spain, we discuss about the temporal information and its relation with the spatial data and we develop the

model of a temporal GIS, analyzing the change detection using remote sensing, the information organization and its cartographic representation.

INTRODUCCION.

Lester Brown (1991) señala que entramos en un nuevo orden mundial en el que la preservación ecológica pasará a ser el principio organizador y la lucha por salvar el planeta el principal tema de debate.

Asistimos, desde la década de los ochenta, a una nueva crisis ecológica ante la reestructuración del capitalismo mundial (Watts, 1989): uso de nuevas tecnologías más destructivas, crisis ecológica en los países subdesarrollados y toma de conciencia de las dinámicas globales de cambio, especialmente el cambio climático.

Unas ideologías y un planeta en proceso de mutación al que se une una revolución en la tecnología de la información (Clark, 1989).

La situación actual de la tecnología de la información permite nuevas formas de aprehender el planeta, desde una escala global a visiones particulares.

La teledetección ha supuesto una revolución en la captación de datos espaciales, con especial atención a la multitemporalidad y las posibilidades espectrales.

Los sistemas de información geográfica permiten, asimismo, la combinación de diversos atributos territoriales, su almacenamiento y manipulación.

Por último, se han desarrollado formas rápidas y eficaces de representación de la información territorial.

Poseemos, por tanto, tecnologías innovadoras que nos pueden permitir indagar en los procesos de cambio del planeta, sus repercusiones y las formas de abordarlos.

CAMBIO AMBIENTAL.

Actualmente presenciamos una creciente preocupación por los cambios físicos que se están produciendo en la Tierra.

Temas como el aumento de la temperatura media de la atmósfera; la escasez del recurso agua y su contaminación; la acumulación de desechos; la pérdida de suelo fértil, la erosión y el uso de biocidas; la deforestación, los incendios forestales y la eliminación de ecosistemas naturales o la pérdida de biodiversidad afectan a todo el planeta y a todos sus moradores.

La información sobre el cambio ambiental, ya sea a escala global, continental, regional o local, se revela, en estos momentos, como crucial en la gestión y en la toma de decisiones sobre el medio ambiente.

A una escala local, ciñéndonos a los cambios en la ocupación del suelo, y siguiendo la idea de degradación de Blaikie y Brookfield (1987), según la cual podemos evaluar los cambios físicos en términos sociales, se pueden describir los cambios más relevantes en nuestro entorno.

La degradación de la tierra se refleja claramente en las transformaciones que se están produciendo en el sector agrícola, con un doble proceso de intensificación y extensificación en los espacios rurales (Sabaté et al., 1991).

Las subvenciones a los precios agrarios y los logros tecnológicos permitieron en la Europa comunitaria un rápido incremento de la superficie cultivada y sus rendimientos. Este estímulo a la producción se reflejó en un aumento de los excedentes con las repercusiones medioambientales 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 de crecimiento 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.

Los terrenos con adversas condiciones físicas sufren un progresivo abandono con un proceso de "matorralización", evolución que presumiblemente se agravará con las nuevas normativas de la PAC sobre superficies dedicadas a cultivos herbáceos y las cuotas de leche o la previsible retirada de los apoyos a los precios agrarios como exige el comercio internacional.

Asimismo, hay que tener en cuenta la escasez de agua y la competencia entre su uso agrícola y urbano, con la reducción de superficie cultivada o el cambio de cultivos.

Como consecuencia del creciente poder territorial de las áreas urbanas aparecen espacios marginales, suministradores de recursos (materias primas para la construcción, agua) y depósito de externalidades no deseadas (desechos).

Unido al crecimiento urbano se produce un auge en la construcción de infraestructuras de conexión, elemento fundamental en la remodelación del territorio.

Por último, señalar dos de los principales problemas ambientales españoles (MOPT, 1992) fuertemente impactantes sobre los paisajes: la erosión y los incendios forestales.

Es necesario, por tanto, un sistema de control y seguimiento de estos cambios, mostrándose idóneos para este cometido la teledetección y los sistemas de información geográfica.

INFORMACION TEMPORAL.

Cambio, suceso o evento puede definirse como algo que ocurre en un punto particular del espacio y en un momento determinado del tiempo (Parkes y Thrift, 1980).

Por consiguiente, el cambio lleva implícito el factor tiempo, objeto de estudio en Geografía desde los trabajos de Hägerstrand.

Actualmente asistimos en nuestra disciplina a un relanzamiento de los estudios de carácter temporal, unido a la propagación del uso de imágenes de satélite, con la periodicidad y homogeneidad de los datos que

esto supone, y el uso de herramientas en la manipulación de la información territorial como son los SIG.

Es necesario, por tanto, el dominio de un vocabulario específico sobre conceptos temporales, el manejo de datos históricos y su transformación en información temporal y, sobre todo, desarrollar una geometría temporal que pueda combinarse con la espacial utilizada en los sistemas informáticos al uso.

Un punto cualquiera en el espacio-tiempo, entendido este como una variedad de dimensión cuatro (Friedman, 1991), estaría representado por cuatro coordenadas: no solo se encontraría referenciado por su situación norte-sur; este-oeste o su altura sobre el nivel del mar (X_1 , X_2 , X_3), sino también por su situación en el tiempo (X_4).

Siguiendo las teorías de Newton, el tiempo es absoluto, esto es, que existe una noción de intervalo temporal o duración entre dos puntos y, por tanto, se puede medir la distancia de la trayectoria o el camino del cambio.

Asímismo, el espacio-tiempo presenta una topología: un punto p cualquiera del espacio-tiempo tiene un entorno, una serie de puntos próximos a p (Friedman, 1991).

El tiempo está presente en los mapas porque este es inseparable del espacio (Wood y Fels, 1986). Todo mapa refleja un estado concreto de un lugar determinado en un tiempo preciso, o lo que los autores denominan la dirección de referencia del mapa en el tiempo.

Siguiendo estas ideas Langran y Chrisman (1988) presentan una topología temporal paralela a una espacial basada en las analogías entre las entidades espaciales y las entidades temporales.

El tiempo sería un sistema con una estructura en episodios, una sucesión de eventos o cambios que transforman un estado en el siguiente. Las entidades espaciales se transforman en objetos mediante mapas: las entidades temporales mediante estados. En un mapa los polígonos se encuentran separados por líneas, fronteras, en el tiempo cartográfico por eventos, reflejo de una mutación. En ambos casos fronteras 0-dimensionales entre regiones 1-dimensionales. Si en el

espacio cartográfico hablamos de objetos en el temporal aparecen las versiones y si en un mapa podemos utilizar conceptos como área o longitud, una versión puede ser cuantificada por su duración (segundos, horas, días, décadas...). Por último, un objeto puede ser localizado por sus coordenadas, una versión por su fecha, atributos arbitrarios en los dos casos.

La topología temporal se hace necesaria en un sistema en el que no solo se identifiquen y representen los cambios, sino que también posibilite una serie de funciones que nos permitan aprehender y manipular los datos temporales y convertirlos en información. Un sistema de información geográfica que incorpore la dimensión temporal y que responda a las funciones que Vrana (1989) demanda a la información histórica de carácter temporal: determinar un punto temporal o estado dentro de un ciclo; evaluar la efectividad de las políticas empleadas ante esos estados o situaciones históricas; analizar futuras pautas y poder tomar decisiones teniendo en cuenta los eventos pasados.

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA DE CARACTER TEMPORAL.

Siguiendo a McLaughlin y Nichols (1987) el encuadre de un sistema de información geográfica que manipule datos temporales sería el siguiente: se trata de un sistema de información espacial ya que se encuentra referido al territorio; es un sistema de información geográfica (SIG) diferenciable de otros sistemas de información, como la cartografía automática o sistemas CAD/CAM; es un sistema de información geográfica temporal ya que pretende recopilar, manejar y representar información histórica; el tipo de información contenido en el sistema es de tipo medioambiental, siendo su utilidad el control de los cambios ambientales; la unidad espacial básica de organización puede estar basada en un sistema teselar, como es el caso de las imágenes obtenidas mediante sensores remotos.

La captación de datos.

Las imágenes obtenidas por satélite aparecen como un método extremadamente valioso en la detección de las transformaciones de los paisajes (Moreira y Ojeda, 1988) y en su cuantificación debido a sus características (diferencia espectral entre dos píxeles de fecha diferente si se ha producido una variación; periodicidad en la obtención de imágenes; formato homogéneo; información sobre regiones no visibles del espectro y eficaz obtención de estadísticas al igual que productos cartográficos).

Los algoritmos empleados en la detección de los cambios ambientales se dividen en dos grandes categorías dependiendo de su finalidad (Jensen, 1986).

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 se enmarcan aquellos métodos que, además de detectar el cambio, determinan la naturaleza del mismo y lo cuantifican (comparación de clasificaciones y clasificaciones multitemporales).

Los realces digitales consisten en la mejora de la imagen para un fin determinado. En la detección de cambios se utilizan algoritmos como la sustracción de los niveles digitales (Weismiller et al, 1977; Jensen y Toll, 1982), cociente o ratio entre bandas (Todd, 1977; Howarth y Wickare, 1981), análisis de componentes principales (Richards, 1984; Byrne et al., 1980), índices de vegetación o diversos filtros digitales.

La comparación visual de imágenes de fecha diferente, ya sea en formato analógico o digital, constituye un método de acercamiento adecuado en el análisis de la evolución de los paisajes (Hilwig, 1980; Crapper y Hynson, 1983).

La detección de cambios ambientales se puede realizar también comparando imágenes ya clasificadas o realizando clasificaciones de imágenes multitemporales, independientemente de que para llegar a estas clasificaciones se hayan utilizado técnicas diversas, como los realces comentados y las interpretaciones visuales.

La detección de divergencias mediante clasificación de imágenes puede abordarse de dos formas diferentes (Martin, 1989; Martin y Howarth,

1989). La primera consiste en comparar dos imágenes de diferente fecha clasificadas de forma independiente; la segunda se basa en la detección de cambios mediante una clasificación digital obtenida de una imagen multitemporal.

El correcto alineamiento de los píxeles entre dos imágenes junto con la bondad de la clasificación son dos de los problemas a solventar en este tipo de metodologías (Gordon, 1980). También hay que tener en cuenta la disponibilidad comercial de las imágenes elegidas, su calidad, la imposibilidad de remontarse a fechas anteriores a la década de los setenta y el coste económico de este tipo de estudios.

La teledetección serviría, en consecuencia, como fuente de información en el SIG (Chuvieco, 1990) y se incorporaría al sistema mediante diversos procedimientos, ya sea mediante incorporación directa de los datos originales o su clasificación o a través de digitalización o utilización de scanners o vídeos de productos cartográficos derivados.

La organización de la información temporal.

En un principio la información histórica puede ser manipulada mediante bases de datos temporales. La información es registrada en una tabla siguiendo un modelo relacional. En una base de datos de este tipo se genera una nueva versión de la tabla cuando cambia una de las teselas, con los problemas que esto plantea.

Un SIG cuyo propósito sea determinar los cambios en la ocupación del suelo puede estructurarse siguiendo el concepto de **overlay** (Burrough, 1986). Si utilizamos un diagrama con dos coordenadas espaciales (x,y), una de ellas en perspectiva, obtenemos una representación bidimensional del espacio, que puede ser descompuesto según sus diferentes atributos en una serie de capas. Representado en las diferentes capas la dimensión temporal conseguimos una estructura en la que cada píxel (como unidad espacial básica) de las diferentes coberturas hace referencia a la situación o estado de ese territorio en un tiempo determinado.

Una vez introducidos los datos en el sistema y creada una estructura podemos almacenarlos, analizarlos, obtener documentos gráficos y, en

definitiva, llevar a cabo las funciones que previamente se le habían asignado.

Cartografía temporal o ¿cómo representar el cambio ambiental?.

Las imágenes de satélite también pueden ser utilizadas en la representación del cambio ambiental. Al presentar las imágenes una misma estructura teselar el método consiste en superponer dos imágenes y determinar el cambio de cada píxel. La siguiente etapa consiste en identificar los cambios detectados, asignarles una cartela y obtener una imagen en pantalla, una fotografía del monitor o una imagen corregida geoméricamente en papel o en soporte fotográfico.

Al realizar un estudio de las transformaciones del paisaje se eligen una serie de aniversarios y se interpreta la situación de ese espacio en ese tiempo concreto. De esta forma logramos una secuencia cartográfica o representación independiente de diversos estados. La unión de estos estados en un único documento da lugar a una composición espacio-temporal. El método consiste en determinar las diversas entidades de las entidades del aniversario elegido más cercano y "contar" su historia en el tiempo (Díaz Muñoz, 1984).

Pero la forma de representar la realidad de un territorio en una época determinada no solo se ciñe a mapas, fotografías aéreas o imágenes de satélite, sino que también abarca fotografías convencionales incorporadas al sistema mediante scanners o fotografía digital, imágenes de video mediante un convertidor, gráficos o texto. Así ya no solo planteamos la representación del cambio en términos cartográficos o de planeamiento, sino siguiendo la idea de preservación de los paisajes (Parkes y Thrift, 1980) en un mundo en rápida transformación. Esta es la idea del **Domesday Project**, proyecto realizado por la BBC con técnicas multimedia en el que se pretende preservar el aspecto de Gran Bretaña en la década de los ochenta, utilizando documentos tanto gráficos como visuales.

A MODO DE CONCLUSION.

A la vista de las ideas expuestas a lo largo del artículo creemos evidente que existen una serie de problemas medioambientales o, al menos, que asistimos a una creciente toma de conciencia de la realidad y gravedad de estos problemas.

Asimismo, también presenciamos una rápida degradación de los paisajes con una fuerte dinámica de cambio en la ocupación del suelo.

Y, finalmente, estamos inmersos en una revolución en la tecnología de la información que nos permite disponer de potentes herramientas de trabajo.

Dos de estas herramientas son la teledetección y los sistemas de información geográfica, instrumentos, en principio, adecuados para la detección de cambios ambientales, su manipulación y su representación cartográfica.

En torno al empleo de esta metodología en el estudio de la evolución de los paisajes surgen, a modo de conclusión y discusión, una serie de interrogantes:

- ¿Es adecuado, en este tipo de análisis, plantearse el tiempo como una sucesión de estados?.
- ¿La teledetección, a escala local, es válida para la detección de cambios?. ¿Son necesarias las inversiones en instrumentos y aprendizaje y la dependencia tecnológica para estudiar la evolución de los paisajes?.
- ¿Cuál es la forma más adecuada de integrar la dimensión temporal en un GIS?.
- ¿Cómo representar el cambio ambiental de una forma sencilla y eficaz?.
- Con los instrumentos de representación convencionales ¿estamos preservando paisajes de una forma global o solo tablas de números y mapas?.

Preguntas todas ellas encaminadas a un solo propósito: entender el mundo cambiante en el que vivimos.

BIBLIOGRAFÍA

BROWN, L.R., ed. (1982). *El planeta en el año 2000*. 1982. Ed. Labor. Barcelona.

BURROUGHS, P.A. (1982). *El planeta en el año 2000*. 1982. Ed. Labor. Barcelona.

BYRNE, G.E. (1982). "Múltiples imágenes de satélite: un nuevo paradigma en la teledetección". *Revista de Teledetección*, 1(2): 173-184.

CHIVERS, D.E. (1980). "Teledetección y sistemas de información geográfica". *Revista de Teledetección*, 1(1): 1-10.

CLARK, M.L. (1982). "Photography and television technology: prospects for a revolution". *Journal of the American Society of Photographic Scientists*, 1(1): 1-10.

CLARKE, P.F. y HARTMAN, K.C. (1982). "The use of satellite data in land use planning". *Journal of the American Society of Photographic Scientists*, 1(1): 1-10.

DALE, MURPHY, M.A. (1982). "The use of satellite data in land use planning". *Journal of the American Society of Photographic Scientists*, 1(1): 1-10.

FRIDMAN, M. (1982). "The use of satellite data in land use planning". *Journal of the American Society of Photographic Scientists*, 1(1): 1-10.

GORDON, S.I. (1982). "The use of satellite data in land use planning". *Journal of the American Society of Photographic Scientists*, 1(1): 1-10.

BIBLIOGRAFIA.

BLAIKIE, P. y BROOKFIELD, H. (1987), Land Degradation and Society, Methuen, Londres.

BROWN, L.R.; ed. (1991) La Situación en el Mundo, 1991. Un Informe del Worldwatch Institute sobre el Desarrollo y el Medio Ambiente. Ediciones Apóstrofe, Madrid.

BURROUGH, P.A. (1986), Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press, Oxford.

BYRNE G.F. et al.(1980), "Monitoring land-cover changes by principal components analysis of multitemporal Landsat data", Remote Sensing of Environment, 10(3):175-184.

CHUVIECO, E. (1990), "Teledetección y S.I.G.: ¿técnicas paralelas y convergentes?" en Actas del IV C.G.C., Palma.

CLARK, M.J. (1989), "Geography and information technology: blueprint for a revolution?" en Gregory, D. y Walford, R. (ed.), Horizons in Human Geography, MacMillan, Hong-Kong, 14-28.

CRAPPER, R.F. y HYNSON, K.C. (1983), "Change detection using landsat photographic imagery", Remote Sensing of Environment, 13:291-300.

DIAZ MUÑOZ, M.A. (1984), "Criterios para el análisis de evolución de usos del suelo en zona de montaña: aplicación a un sector de Somosierra", Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 4:131-147.

FRIEDMAN, M. (1991), Fundamentos de las Teorías del Espacio-Tiempo, Alianza Universidad, Madrid.

GORDON, S.I. (1980), "Utilizing Landsat imagery to monitor land-use change: a case study in Ohio", Remote Sensing of Environment, 9:189-196.

HARLEM BRUNDTLAND, G. (1989), "Editorial", Naturopa, 63:3.

HILWIG, F.W. (1980), "Visual interpretation of multitemporal landsat data for inventories of natural resources", ITC Journal, 2:297-327.

HOWARTH, P.J. y WICKWARE, G.H. (1981), "Procedures for change detection using landsat digital data", International Journal of Remote Sensing, 2(3):277-291.

JENSEN, J.R. (1986), "Change detection" en Introductory digital image processing. A Remote Sensing Perspective, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 234-253.

JENSEN, J.R. y TOLL, D.L. (1982), "Detecting residential land-use at the urban fringe", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(2):629-643.

LANGRAN, G. y CHRISMAN, N.R. (1988), "A framework for temporal geographic information", Cartographica, 25(3):1-14.

MARTIN, L.R.G. (1989), "Accuracy assessment of landsat-based visual change detection methods applied to the rural-urban fringe", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(2):209-215.

MARTIN, L.R.G. y HOWART, P. (1989), "Change-detection accuracy assessment using SPOT multispectral imagery of the rural-urban fringe", Remote Sensing of Environment, 30:55-66.

McLAUGHLIN, J.D. y NICHOLS, S.E. (1987), "Parcel based land information systems", Surveying and Mapping, 47(1):11-29.

MOPT (1992), Conferencia Medio Ambiente y Desarrollo. UNCED. Brasil-92, Secretaría General Técnica, Madrid.

MOREIRA, J.M. y OJEDA, J. (1988), "Control de cambios en el territorio de Andalucía a través del tratamiento digital de imágenes", Coloquio Hispano-Francés sobre Teledetección y Planificación integrada del Territorio, IGN, Madrid.

PARKES, D. y THRIFT, N. (1980), Times, Spaces, and Places, John Wiley and Sons, Chichester.

RICHARDS, J.A. (1984), "Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation", Remote Sensing of Environment, 16(5):35-46.

SABATE, A. et al. (1990), "Dinámica de los espacios rurales y medio ambiente: teledetección y S.I.G. como instrumentos para su evaluación", XII Congreso Nacional de Geografía, Valencia, 351-355.

TODD, W. J. (1977), "Urban and regional land use change detected by using Landsat data", Journal Research U.S. Geological Survey, 5(5):529-534.

VRANA, R. (1989), "Historical data as an explicit component of land information systems", International Journal of Geographical Information Systems, 3(1):33-49.

WATTS, M. (1989), "La geografía y la lucha en defensa del medio ambiente: la integración de la ecología humana y la economía política, o ¿Marx era rojo o verde?", Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 9:109-126.

WEISMILLER, R.A. et al. (1977), "Change detection in coastal zone environments", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12):1533-1539.

WOOD, D. y FELS, J. (1986), "Designs on sign: myth and meaning in maps", Cartographica, 23(3):54-103.

Este artículo se enmarca dentro de la Tesis Doctoral en elaboración Evaluación del Cambio Ambiental en la Vega del Jarama mediante Teledetección y SIG financiada por el Plan de Formación del Personal Investigador de la Comunidad de Madrid.