

PROPUESTA METODOLOGICA PARA ELABORAR MODELOS DE TRANSPORTE Y DESARROLLO URBANO MEDIANTE TELEDETECCION Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

M^a MILAGROS SERRANO CAMBRONERO

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid

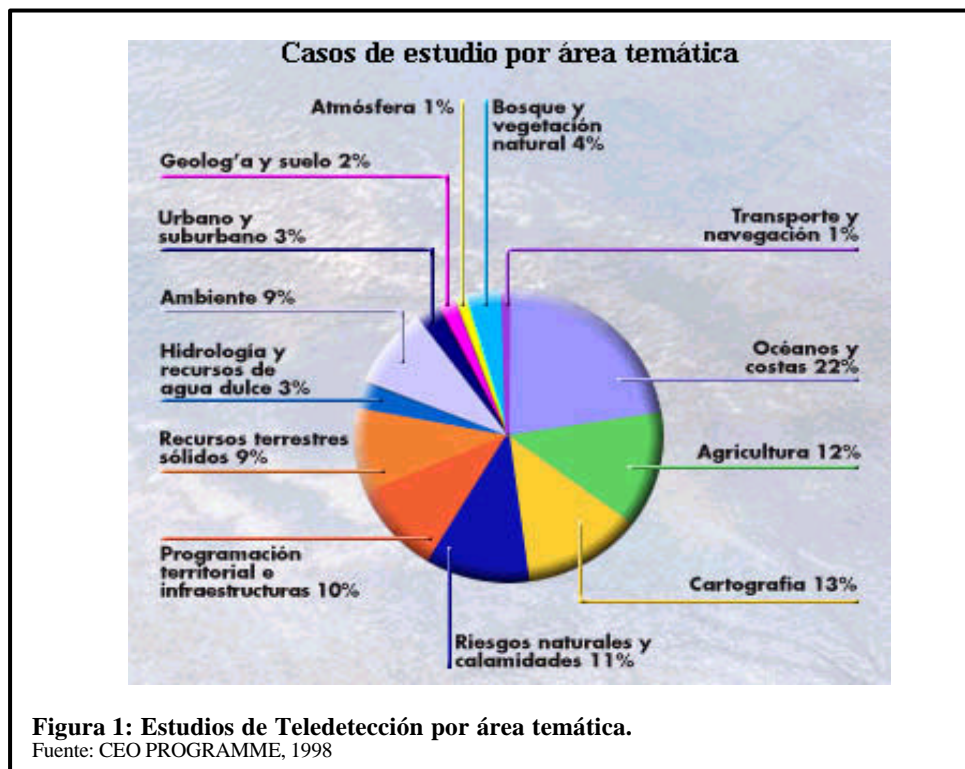
1. Importancia de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica en la modelización urbana.

La construcción de modelos se está viendo favorecida y puede sufrir una nueva etapa de expansión debido a las posibilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección. En este sentido, en una conferencia celebrada para conmemorar los 20 años del libro "*Models in Geography*" había científicos que seguían creyendo firmemente en la modelización y que, actualmente, se encontraban estimulados en nuevos planteamientos debido a la gran expansión de los Sistemas de Información Geográfica (Johnston, et al., 2000). En este mismo sentido, aunque refiriéndose concretamente a modelos urbanos, hay autores que opinan que hoy en día existe una revigorización de la modelización y simulación de los sistemas de la ciudad debido, entre otras razones, a la disponibilidad de datos de alta resolución sobre las ciudades (imágenes de satélite), al progreso de la cartografía digital, a la incorporación de teorías provenientes de otras ciencias (caos, fractales, etc.) y fundamentalmente debido al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (Longley, 1999, en Pacione, 1999).

Muchos son los trabajos que demuestran la importancia de los Sistemas de Información Geográfica en el desarrollo de modelos urbanos, destacando entre otras las aportaciones de Longley (1994) y Batty (1994,1995) que plantean las posibilidades, problemas y perspectivas de la utilización de Sistemas de Información Geográfica en modelos urbanos, los de Sui (1994,1998) sobre las perspectivas de cambio metodológico que aportan estas nuevas tecnologías o los de Johnston y de la Barra (2000) que relacionan modelos de transporte y usos de suelo.

Por el contrario, las aportaciones de las imágenes de satélite a la modelización urbana, y en general a los estudios del espacio urbano son bastante inferiores y se han visto muy condicionadas por la insuficiente resolución espacial de las imágenes. La figura 1 muestra las estadísticas de los "*Case Studies*" financiados por el programa CEO (Centre for Earth Observation, 1998) de la Comisión Europea, en ella se puede comprobar como las aplicaciones urbanas de la Teledetección son inferiores a otras áreas temáticas. Los trabajos más importantes

en este sentido son los que desarrollan modelos urbanos combinando imágenes de satélite con nuevas teorías (fractales), en ellos se integra la forma física de un área urbana, mediante un proceso de clasificación de usos del suelo, y el modo en la que la población se configura en dicha área a través de datos socioeconómicos procedentes de los censos de población (Longley y Mesev, 1997, 2000), (Mesev et Al, 1995), (Batty y Longley, 1994).



En esta misma línea, dentro del programa CEO (Centre for Earth Observation) de la Comisión Europea, se encuentra uno de los proyectos más importantes realizados en el ámbito de la Unión Europea, el proyecto MURBANDY (*Monitoring Urban Dynamics*) (<http://murbandy.sai.jrc.it>). Este proyecto se basa en la realización de una cartografía de usos de suelo a escala 1:25.000 de 24 ciudades europeas desde mediados de los años 50 hasta época actual; para realizar esta cartografía se utilizan imágenes del satélite indio IRS 1C, imágenes de satélite antiguas y fotografías aéreas. Los objetivos principales de este proyecto se basan en:

- ? Establecer cambios de usos del suelo en las ciudades europeas.
- ? Desarrollar indicadores urbanos y medioambientales que ayuden a explicar el dinamismo de las ciudades y analizar el impacto que las ciudades tienen en el medio ambiente.
- ? Elaborar escenarios (modelos) de crecimiento urbano.

Para el caso de España, en mayo de 1998, el CNIG y el IGN, firmaron un contrato con la Comisión Europea (SAI/JRC), para la realización de la parte "*Cambios*" en la ciudad de Bilbao, elaborándose bases de datos de ocupación del suelo en los años 1956, 1972, 1984 y 1997 (<http://www.mfon.es/ign/teledetección/proyectos/>).

2. Información del modelo.

La propuesta metodológica desarrollada en este estudio se basa en la utilización de información procedente de imágenes de satélite y cartografía digital, información que será procesada mediante Sistemas de Información Geográfica (Erdas Imagine), para adaptarla a los objetivos concretos de este estudio.

La preparación de la información para generar el modelo está dividida en dos fases, en la primera se establece el desarrollo urbano producido en el área y periodo de estudio y en la segunda se determina la variabilidad de los cambios en función de la distancia al centro de la ciudad.

2.1 Primera fase: Mapa de desarrollo urbano.

El objetivo de la primera fase es obtener un mapa que presente los cambios a uso del suelo urbano, producidos alrededor de las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid. La figura 2 muestra el esquema metodológico llevado a cabo en la primera fase de elaboración del modelo.

2.1.1 Información de partida

La información utilizada como base para generar el modelo es:

1. Hojas 1:100.000 de la Comunidad de Madrid correspondientes al mapa Corine Land Cover en formato ARC/INFO.
2. Imágenes de satélite. Se han utilizado tres imágenes de satélite, una Landsat TM que cubre toda Comunidad de Madrid y dos imágenes IRS 1C en modo pancromático que cubren la mayor parte de los espacios urbanos de la Comunidad de Madrid, todas ellas de Agosto de 1997.
3. Base Cartográfica Numérica BCN200 del Instituto Geográfico Nacional, en formato ARC/INFO.

2.1.2 Procesamiento de la información de partida

Los tratamientos efectuados a la información de partida para elaborar el modelo son:

1. Procesamiento del Corine Land Cover. El objetivo es generar un mapa que contenga los usos del suelo de la Comunidad de Madrid en 1987. Esta fase ha consistido en la unión de las 11 hojas 1:100.000 correspondientes a la Comunidad de Madrid, su transformación a formato

raster, la adecuación de estas hojas al límite de la Comunidad de Madrid y por último la simplificación del número de clases de la leyenda original.

2. Procesamiento de las imágenes de satélite. El objetivo es obtener un mapa actualizado de usos del suelo de la Comunidad de Madrid en 1997. Este mapa se ha realizado conjuntamente mediante la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM y la interpretación visual de las dos imágenes de IRS 1C. La figura 3 muestra los procesos realizados a las imágenes de satélite.
3. Procesamiento de la BCN. El objetivo es conseguir un fichero con las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid

2.1.3 Mapa de desarrollo urbano en torno a las carreteras.

Una vez obtenidos los dos mapas de usos del suelo de 1987 y 1997 y tras la realización de un análisis matricial, pueden detectarse los cambios que se han producido a uso urbano en toda la Comunidad de Madrid. El objetivo de este estudio es analizar únicamente el desarrollo urbano producido en torno a las carreteras radiales, para ello es necesario determinar previamente el área de influencia de dichas carreteras. El área de influencia se ha determinado en 1Km. a ambos lados de las carreteras, porque creo que toda alteración que se produzca en torno a 1 Km. de distancia asegura que la alteración esté ocasionada por la influencia de la carretera. Por último mediante la intersección entre el mapa de cambios en la Comunidad de Madrid y el área de influencia de las carreteras (generado mediante un buffer de distancias) se obtiene el mapa de desarrollo urbano en torno a las carreteras radiales.

2.2 Segunda fase: Medición de la variabilidad de los cambios en función de la distancia.

La variabilidad de los cambios en función de la distancia se establece mediante los siguientes pasos. La figura 4 muestra el esquema metodológico llevado a cabo en la segunda fase de elaboración del modelo:

1. Subdivisión del espacio correspondiente a la Comunidad de Madrid en coronas de distancia determinadas a priori (3 Km.), a partir de un centro de referencia definido previamente (Puerta del Sol de Madrid). El número total de coronas por carretera es: carretera de Burgos 29 coronas, carretera de Barcelona 13 coronas, carretera de Valencia 21 coronas, carretera de Andalucía 11 coronas, carretera de Extremadura 12 coronas y carretera de La Coruña 18 coronas.
2. Determinación del desarrollo urbano en cada una de las coronas en que se encuentran subdivididas las carreteras las carreteras.

3. Generación del modelo.

La organización de la información es una fase previa para la obtención del modelo, una vez que la información está preparada el último paso consiste en la ponderación y normalización de los datos como forma de abstracción y sinopsis para explicar cómo se ha producido el desarrollo urbano en las carreteras analizadas. Los procesos realizados se esquematizan en la figura 5 y son los siguientes:

1. *Ponderación de cambios.* La ponderación se establece teniendo en cuenta el porcentaje total de los cambio a urbano que se producen en toda la carretera y el porcentaje de cambio a urbano en cada corona. Los resultados se sintetizan en seis intervalos en los cuales el valor 1 indica la mayor intensidad de cambio y el valor 6 la menor. El resultado de este proceso es que cada corona de cada carretera queda caracterizada por un único valor que refleja intensidad de cambio. Este proceso hay que repetirlo tantas veces como coronas existen.
2. *Recodificación de coronas.* La ponderación es únicamente un proceso estadístico cuyos resultados no quedan reflejados cartográficamente; para trasladar estos resultados al mapa hace falta aplicar a cada corona de cada carretera un nuevo valor (el valor de ponderación); es decir es necesario recodificar con su valor correspondiente (de 1 a 6) cada una de las coronas de las carreteras. También en este caso el proceso hay que repetirlo tantas veces como coronas existen.
3. *Suma de coronas.* El siguiente paso consiste en unir las diferentes coronas que forman la carretera
4. *Suma de carreteras.* El modelo se obtiene finalmente tras la unión de todas las carreteras (Mapa1).

4. Conclusiones

La metodología diseñada permite, en primer lugar, detectar los cambios de usos del suelo producidos en torno a las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid y en segundo lugar la ponderación de los cambios en función de la distancia al centro de la ciudad.

El resultado final obtenido es un modelo que refleja intensidad de cambio, es decir muestra los tramos que presentan un mayor o menor grado de actividad o dinamismo, ayudándonos a explicar la importancia que tienen las carreteras en el crecimiento urbano de la Comunidad de Madrid y las pautas principales de este crecimiento.

El modelo refleja como la distancia al centro de la ciudad sigue constituyendo un factor fundamental del desarrollo urbano, así lo demuestra el hecho de que en la mayor parte de las

carreteras, exceptuando la de Extremadura, las áreas más dinámicas, son las coronas situadas más próximas al centro.

En este modelo también se puede apreciar la aparición de focos de desarrollo en áreas no tan cercanas al centro. Un análisis más detallado de estas zonas refleja en primer lugar que estos focos de desarrollo coinciden con la intersección de carreteras radiales con orbitales (fundamentalmente M-40, M-50) donde se están localizando en la actualidad gran cantidad de viviendas, industrias, oficinas o grandes superficies comerciales y de ocio. En segundo lugar aparecen focos de desarrollo urbano muy alejados del centro, coincidentes con núcleos de población en los cuales ha habido un gran desarrollo de viviendas destinadas tanto a segundas residencias como a vivienda principal en la búsqueda de mejores condiciones ambientales y paisajísticas.

Creo que un buen modelo es aquel que aplicado a espacios diferentes con características similares, permita establecer conclusiones válidas para la mayoría de los espacios. En este sentido el modelo presentado es más bien un modelo descriptivo porque no explica las causas de este dinamismo ni tampoco los tipos de cambios, pero una vez comprobada la validez de la metodología pueden elaborarse modelos similares para otras ciudades y con ello explicar el fenómeno del desarrollo urbano en las grandes ciudades españolas.

El desarrollo de modelos urbanos y en general el estudio de los espacios urbanos está en este momento empezando a dar un cambio importante básicamente debido a la disponibilidad de las imágenes de satélite de gran resolución espacial. La utilización generalizada de este tipo de imágenes va a permitir realizar estudios dinámicos del espacio urbano a cualquier escala y, lo que más importante, casi en tiempo real; es decir, podemos observar los cambios producidos en cualquier área urbana mes a mes, o incluso menos, dependiendo de la resolución temporal de las imágenes. Por esta razón, este estudio constituye el punto de partida de diferentes trabajos que en esta misma línea pueden desarrollarse en un futuro no muy lejano.

BIBLIOGRAFÍA

BATTY, M. (1994): "Urban models 25 years on", *Environment and Planning B. Planning and Design*. Vol. 21. 5, pp. 515-517.

BATTY, M. (1995): "Cities, planning, design, computation and evolution" *Environment and Planning B. Planning and Design*. Vol. 22. pp. 379-382.

BATTY, M and LONGLEY, P. (1994): *Fractal Cities*. Londres .Academic Press.

CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección espacial*, Madrid. Ediciones RIALP S.A

CEO.(1998): *Information from space. CEO PROGRAMME*. Comunidad Europea. (Documentación en CD-ROM.)

ERDAS. (1997): *ERDAS Field Guide*, Atlanta. Erdas, Inc.

- JOHNSTON, R.A., DE LA BARRA, T. (2000): "Comprehensive regional modeling for log-range planning: linking integrated urban models and geographic information systems", *Transportation Research. Part A* . Vol. 34, Pergamon. pp. 125-136.
- JOHNSTON, R.J., ET AL.(2000): *Diccionario Akal de Geografía Humana.*, Akal.
- PACIONE, M. (1999): *Applied Geography: Principles and Practice*. London. Routledge.
- LONGLEY, P. y OTROS (1994): "The predictive use of GIS to model property valuations". *International Journal of Geographical Information Systems*. Vol. 8. pp. 217-235.
- LONGLEY, P.A. and MESEV, V (1997): "Beyond analogue Models: space filling and density measurement of an urban Settlement". *Papers in Regional Science*. Vol. 76. 4. pp. 409-427.
- LONGLEY, P.A. and MESEV, V (2000): "On the measurement and generalisation of urban form". *Environment and Planning A*. Vol. 32. 3. pp. 473-488.
- MESEV, V., P. A. LONGLEY, M.BATTY, AND Y. XIE. (1995): "Morphology from imagery: detecting and measuring the density of urban land use". *Environment and Planning A*. Vol. 27. 5. pp. 673-830.
- SERRANO, M. (2001): *Infraestructuras de transporte y desarrollo urbano: aproximación metodológica por medio de teledetección aplicada al área urbana de Madrid*. Tesis doctoral.
- SUI, D.Z. (1994): "GIS and Urban studies: Positivism, post-Positivism, and beyond". *Urban Studies* Vol. 45. 3. pp.258-278.
- SUI,D.Z. (1998): "GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects". *International Journal Geographical Information Sciences*. Vol. 12. 7. pp. 651-671.
- SUI, D.Z. (1998): "Deconstructing virtual cities: From unreality to Hyperreality". *Urban Geography*. Vol. 19. 7. pp. 657-676.
- SUTTON, C. J. (1999): "Land use change along Denver's I-225 beltway", *Journal of Transport Geography*, 7, pp. 31-41.

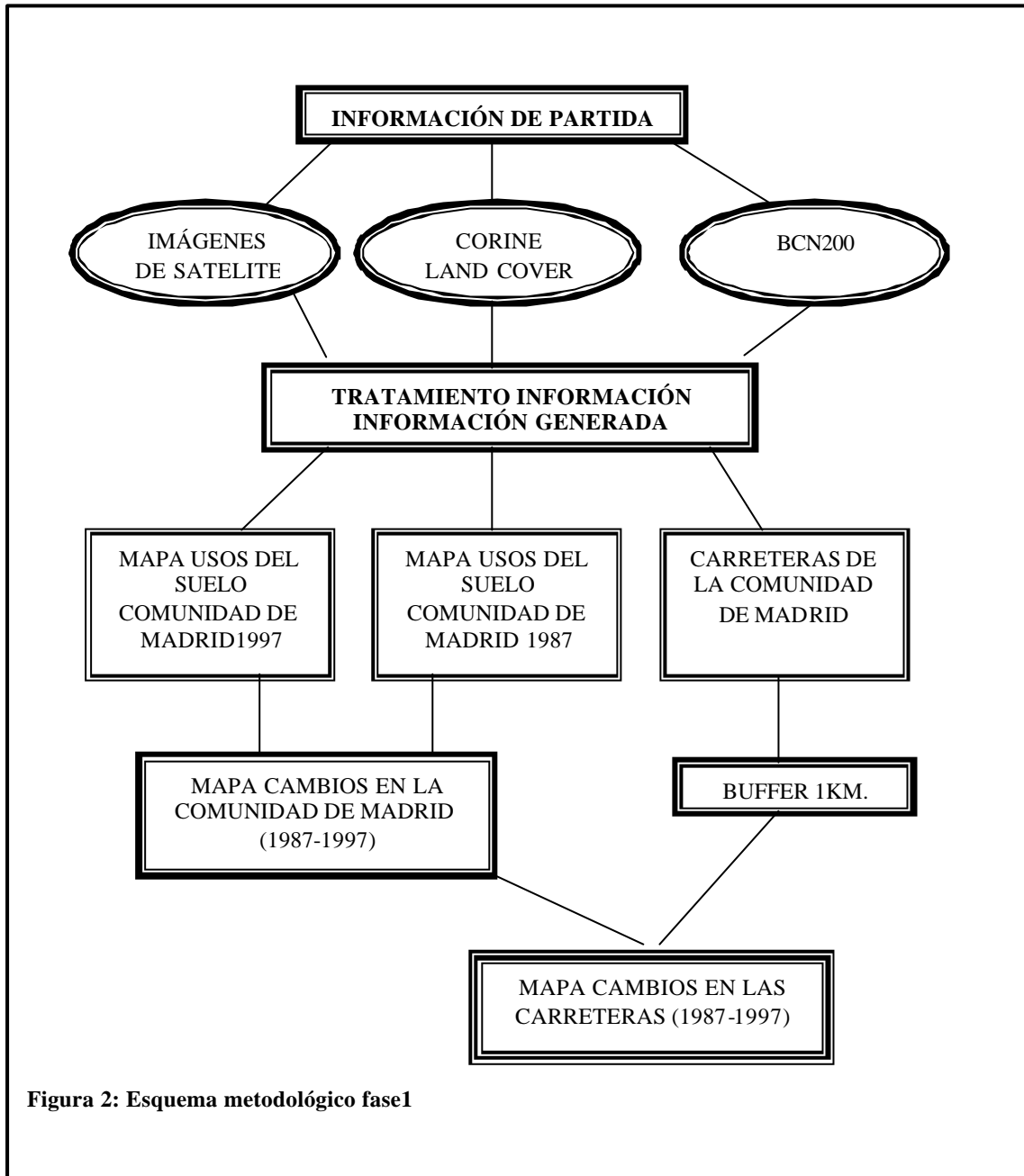
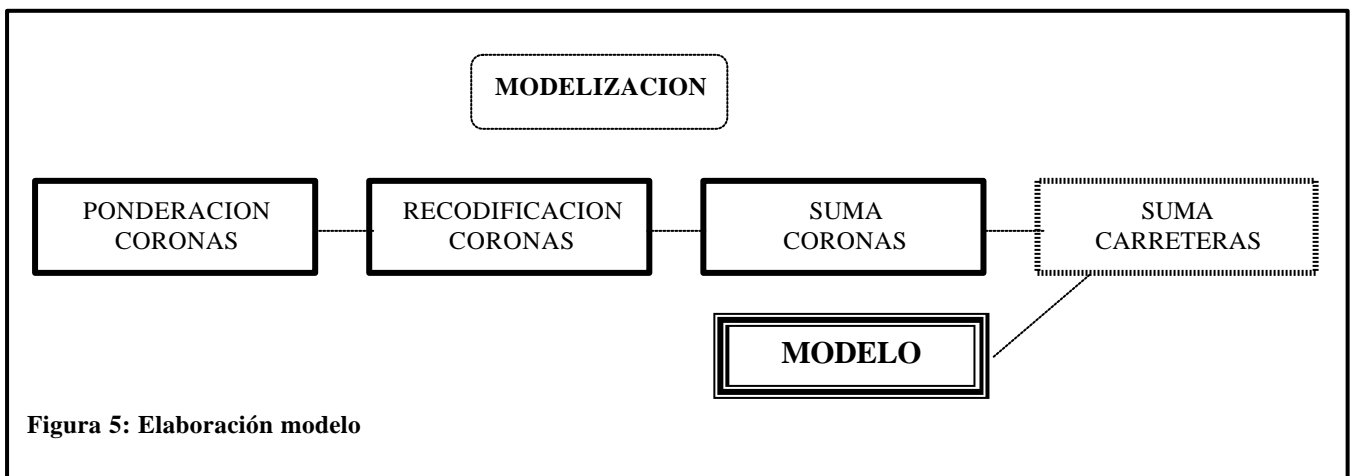
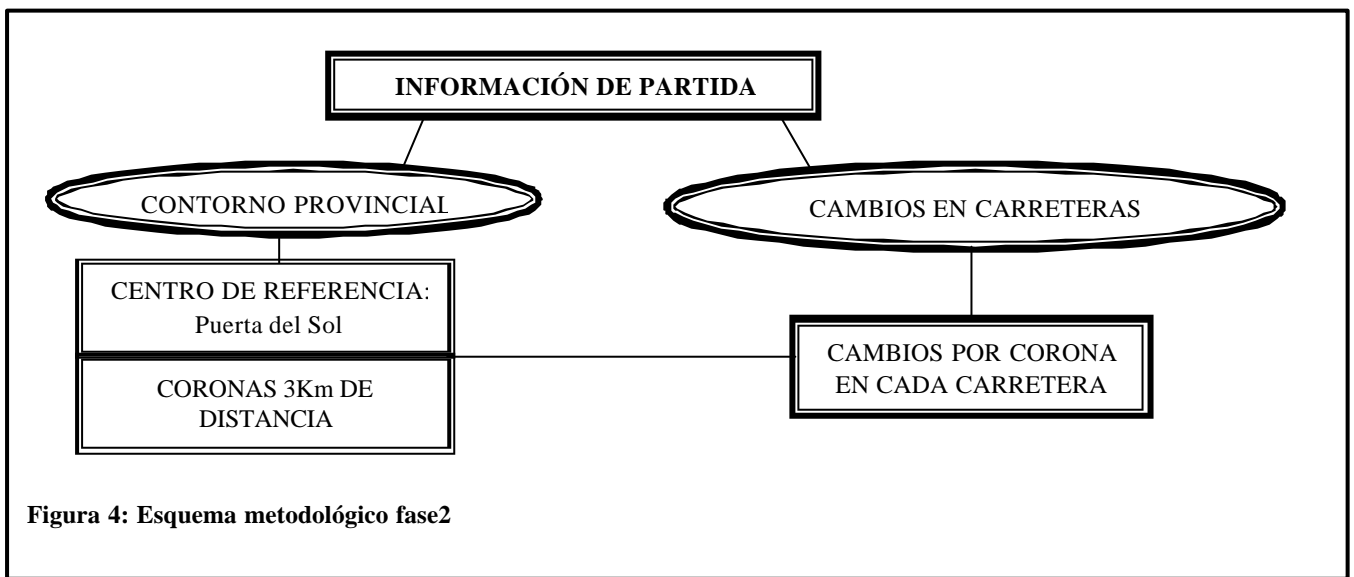
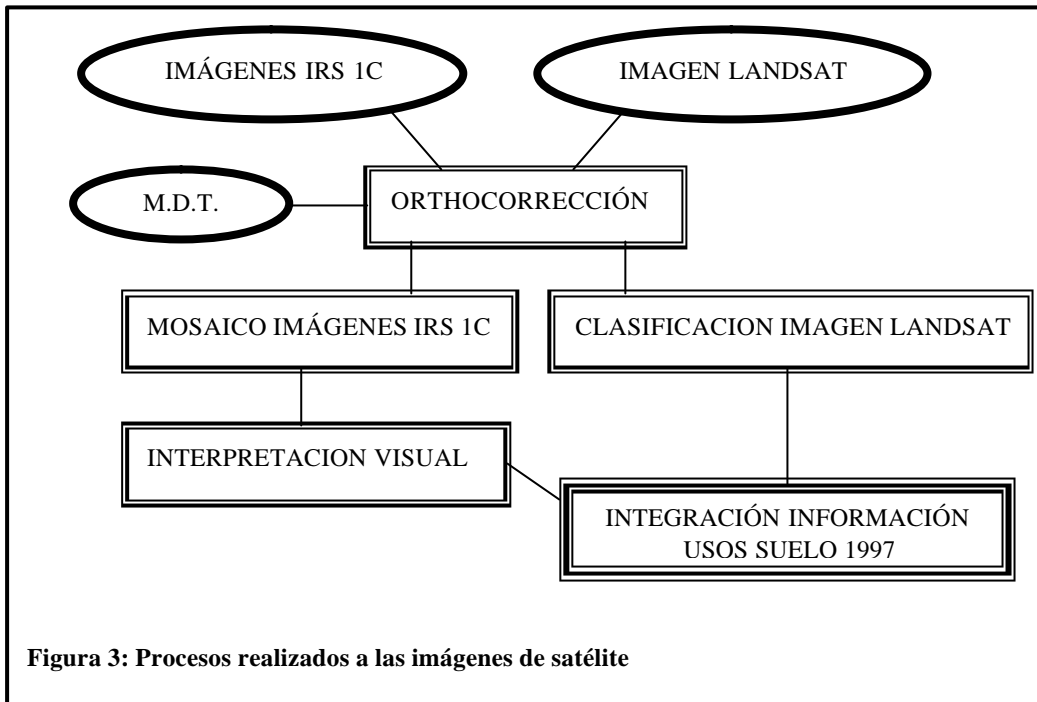
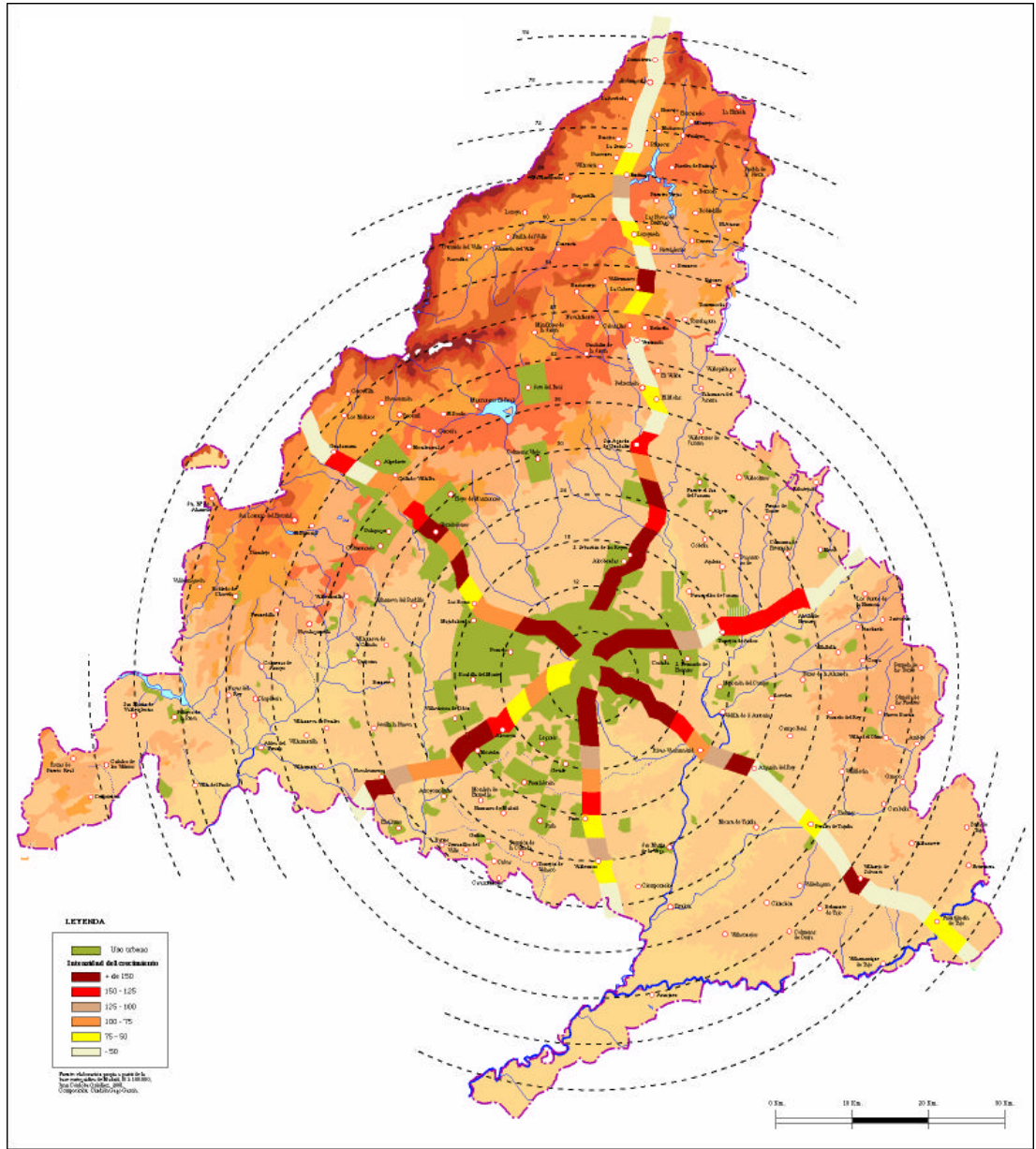


Figura 2: Esquema metodológico fase1





Mapa 1: Modelo de desarrollo urbano de Madrid (1987-1997)