

UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
PARA LA MODELIZACIÓN ESPACIAL DEL ÁREA METROPOLITANA  
DE BILBAO\*

Joseba JUARISTI\*\*  
*Departamento de Geografía  
Universidad del País Vasco*

**RESUMEN:** En esta comunicación exponemos la metodología utilizada para la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) orientado de cara a su explotación en la modelización de la dinámica espacial de un área metropolitana. En este sentido, consideramos que un Sistema de Información Geográfica no debe estar condicionado por un determinado producto de software, sino que debe aprovechar la combinación de diferentes tipos de herramientas como son los recursos de cálculo y entre ellos los compiladores de dinámica de sistemas. En este caso recogemos algunas de las capacidades analíticas de los SIGs que pueden ayudar a la documentación de modelos dinámicos espaciales, y presentamos también la estructura de la base de datos creada para la modelización dinámica del Area Metropolitana de Bilbao.

**ABSTRACT:** The aim of this paper is showing the methodology used for the implementation of a Geographical Information System of a metropolitan area trying to link GIS and spatial dynamic modelling. The spatial dynamic models in which we are concerned are of the type of EMUS (Evolutionary Models of Urban Systems). Such methodology requires a combination of some software packages, mainly dynamic systems modelling and GIS. The link between those two applications is achieved via exporting and importing attribute datafiles and the quantification of thematic maps. As an input of the dynamic models we try to explore -using GIS- the carrying capacity of a urban area and the urban attraction of a given urban area of the demand of housing, industry, services and

---

\* La presente comunicación es un resumen del esquema metodológico empleado en el Proyecto de Investigación PB91-0949 de la DIGICYT, en curso de realización en el momento de redactar estas líneas.

\*\* Investigador Principal del Proyecto PB91-0949. Forman parte de este proyecto Eugenio Ruiz Urrestarazu, Pedro Arriola Aguirre y M<sup>a</sup> José Ainz Ibarrondo. Los autores quieren agradecer la colaboración especial de Manuel de la Puente Gavilán, Miguel Ángel García Robleda y Jacinto Gómez Ramos.

other land uses.

## INTRODUCCIÓN.

Además de las tareas de inventario del territorio, o de seguimiento de los procesos espaciales, los sistemas de información geográfica pueden ser una ayuda básica para el análisis espacial y la modelización dinámica.

En este último aspecto consideramos que la modelización dinámica forma parte del conjunto de técnicas que permiten responder a preguntas del tipo "¿qué ocurriría si...?" (RHIND, 1990), si bien dicho conjunto de técnicas, que en la terminología anglosajona se resume en la expresión *what if*, es lo suficientemente amplio como para incluir desde inferencias que se resuelven con un álgebra simple hasta modelos matemáticos muy sofisticados. En el contexto metropolitano, los modelos matemáticos de estructura urbana han sido contruidos para estudiar las consecuencias de decisiones políticas (de promoción de viviendas, de localización industrial, de localización de servicios, de construcción de infraestructuras de transporte, etc.). Entre ellos hay que destacar la familia de modelos derivados del trabajo inicial de LOWRY (1964), en los que se considera a las áreas metropolitanas como integradas por un sistema de zonas discretas en el cual se producen interrelaciones entre el sistema residencial y el sistema productivo, teniendo en cuenta los efectos multiplicadores de la economía y la interacción espacial reflejada en los movimientos domicilio-trabajo y domicilio-servicios. Entre las aplicaciones más destacables de este tipo de modelos hay que señalar los modelos de transportes y usos del suelo, en los cuales las actividades económicas están relacionadas con los usos del suelo mediante una matriz de coeficientes técnicos que se suponen estables en horizontes de tiempo relativamente cortos.

Por otra parte, desde comienzos de los años ochenta se ha relanzado una nueva corriente de modelización dinámica basada en los conceptos de irreversibilidad de los procesos espaciales a través de la inestabilidad y la bifurcación (WILSON, 1981), o bien resaltando el carácter de auto-organización (PUMAIN et al., 1989).

Hasta el momento la relación entre los modelos dinámicos y los SIGs ha sido prácticamente nula. Bien es cierto que para documentar los modelos del primer tipo mencionado -transportes y usos del suelo- los datos referentes a usos del suelo deben ser obtenidos sobre una base cartográfica a partir de la cual se cuantifica, y también el examen del mapa puede ser necesario a la hora de

calibrar la capacidad física de las zonas urbanas o la accesibilidad, pero normalmente el recurso al mapa queda olvidado una vez que el modelo está construido. En muchos casos también, la documentación numérica de un modelo de metrópolis se obtiene mediante encuestas *ad hoc*, utilizando sistemas de zonas que no corresponden con unidades censales, lo que compromete el uso futuro del modelo. Además, como han señalado diferentes autores, los modelos matemáticos representan un nivel muy alto de agregación espacial, en el cual las estructuras reales (redes físicas de transporte, por ejemplo) desaparecen por completo (GOULD, 1987, 14).

Quizá parezca arriesgado el adelantar unos beneficios excesivos de la combinación de ambas técnicas, pero en todo caso puede resultar interesante la construcción de un SIG orientado hacia la documentación de modelos dinámicos. En el siguiente apartado enumeraremos algunas de estas ventajas.

#### **LA COMBINACIÓN DE SIGs y MODELOS DINÁMICOS: ASPECTOS CONCEPTUALES.**

La comprensión de los cambios espaciales ha sido tradicionalmente uno de los objetivos de la geografía. Esta comprensión se ha venido abordando en los trabajos geográficos mediante reconstrucciones detalladas de los acontecimientos en el espacio y en el tiempo, estableciendo comparaciones con estructuras y procesos similares. En este aspecto, la representación cartográfica se ha mostrado como un instrumento indispensable de reconstrucción, considerándose el mapa temático como un producto final de síntesis de la investigación. Pero el mapa también ha mostrado sus limitaciones a la hora de comprender procesos, y de la reflexión sobre estas limitaciones han surgido propuestas interesantes entre las que nos atreveríamos a destacar la Geografía del Tiempo de Hägerstrand (HAGERSTRAND, 1973) o el lenguaje de "coremas" del profesor Brunet (BRUNET, 1984).

Ciertamente, tampoco los SIGs pueden llegar a superar algunos de estos problemas fundamentales, y en todo caso son sólo una herramienta que nos permitiría producir mapas temáticos de situaciones sucesivas en el tiempo, o experimentar con la escala adecuada de representación de un determinado fenómeno.

Los modelos de dinámica urbana se construyeron inicialmente con una finalidad pragmática, y debido su origen híbrido (ingeniería del transporte y economía urbana, principalmente) no atrajeron a los geógrafos hasta fechas más bien tardías (JUARISTI, 1992). No obstante, los primeros modelos de dinámica

urbana, creados por la escuela de Forrester trataban implícitamente con un concepto que había preocupado a los geógrafos. Nos referimos a la competencia espacial entre diferentes estructuras que actúan en el tiempo: aquello que Hägerstrand había llamado "orden de picoteo":

*"La definición, tan frecuentemente citada de la geografía humana como 'disciplina en distancia'...no hace alusión alguna a la competencia espacial, al 'orden de picoteo' entre estructuras que buscan su orden en el espacio" (HÄGERSTRAND, 1973, 110).*

Efectivamente, aunque los primeros modelos de dinámica urbana no eran espaciales (FORRESTER, 1969), ya que la ciudad estaba constituida por una sola zona, sí reflejaban la competencia entre diferentes usos del suelo dentro de un espacio urbano limitado. El suelo dedicado a vivienda y a actividades económicas, interactuando con el sistema demográfico permitían mostrar cómo actuaba la escala temporal en los procesos de crecimiento y deterioro urbano. Un concepto popularizado por estos modelizadores fue el de "comportamiento antiintuitivo" de los sistemas, tratando de mostrar a los decisores - poderes públicos- que las decisiones con objetivos a corto plazo podían tener efectos "perversos" en plazos más largos.

El interés de esta corriente de modelización hacia los ciclos de crecimiento y obsolescencia se concretó en un interés por la desagregación temporal de las variables de estado (población, vivienda y actividades económicas) y no por la desagregación espacial (ALFELD et al., 1976). A nuestro modo de ver, los modelos urbanos del tipo de Forrester trataban con dos conceptos que pueden ser relevantes en las consideraciones dinámicas de un SIG. Nos referimos a

1. El concepto de capacidad de carga del territorio.
2. El concepto de atracción urbana.

En los primeros modelos dinámicos se entiende la capacidad de carga del territorio en el sentido físico de superficie disponible dentro de la ciudad para determinadas actividades: vivienda y actividades económicas. La estimación de la capacidad de carga máxima de una ciudad se obtiene conociendo la superficie total existente y ciertos ratios como la superficie media por empleo y la superficie media por residente, aunque dichos ratios se puede cualificar de acuerdo con el tipo de actividad económica o con los tipos de categoría social de los residentes. El conocimiento de la capacidad de carga de una zona urbana

necesita de un conocimiento de los usos del suelo existentes, de las características físicas del territorio (superficies, pendientes, barreras físicas, usos incompatibles), así como de las limitaciones normativas impuestas por la planificación: Planes Generales, Normas Subsidiarias o Directrices de Ordenación del Territorio. Es indudable que el empleo de un SIG para determinar los valores de capacidad de carga del territorio tiene una gran utilidad en este sentido.

La atracción urbana es un concepto más amplio que puede reflejarse de forma operativa de muchas maneras. En los modelos de Forrester se entiende como tal la atracción de empleo o de nuevas actividades económicas que ejerce la ciudad respecto al exterior de la misma, dependiendo de la disponibilidad neta de empleo, de suelo para actividades económicas y de la existencia de viviendas vacantes. La atracción urbana es por tanto un concepto dinámico que depende de la combinación particular de circunstancias que se produce en un momento determinado dentro de la ciudad. La atracción urbana depende de forma crítica de la capacidad de carga, ya que en situaciones de congestión industrial o de hacinamiento residencial puede tener un efecto negativo, reflejado en las no-linealidades de los modelos.

Respecto a los modelos de Forrester, la nueva corriente de modelización dinámica representada por las Escuelas de Leeds y de Bruselas (PUMAIN et al., 1989), introduce en los modelos un mayor complejidad, cuyos principales aportaciones teóricas ya resumimos en otro trabajo (JUARISTI, 1992). En este caso sólo destacaremos algunas propiedades de cara a la explotación de un SIG:

1. Son modelos espaciales y dinámicos.
2. Se considera el carácter dinámico de la capacidad de carga del territorio..
3. Las diferentes zonas urbanas compiten entre sí de acuerdo con su atracción relativa, que incluye en este caso el concepto de accesibilidad.

Por modelos espaciales entendemos en este caso aquellos modelos en los que el área urbana aparece dividida en una serie de zonas. Esta cualidad resulta muy interesante en el estudio de áreas metropolitanas, ya que permite la experimentación con los efectos de difusión que se producen entre las diferentes áreas, aunque éstas sean pocas: por ejemplo una división dual centro-periferia, o cualificando la periferia como diferentes áreas de acuerdo con las características sociales o residenciales. En este aspecto el SIG aporta la función de poder experimentar con diferentes agrupamientos de las unidades espaciales de base.

La capacidad de carga del territorio - o del suelo urbano - puede tener un

límite físico "máximo". No obstante, se considera que dicha capacidad puede fluctuar según las condiciones económicas y tecnológicas, y también según la percepción de los agentes sociales y económicos que toman sus decisiones de localización al optar por una determinada zona dentro de unas circunstancias económicas y perceptuales particulares.

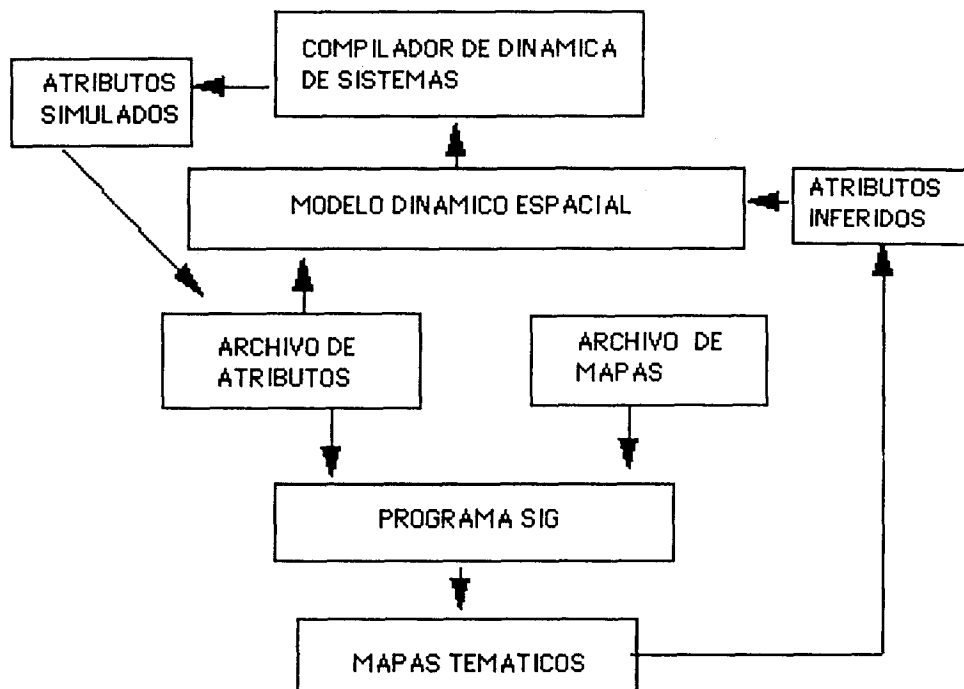
El concepto de atracción relativa es particularmente interesante para su consideración desde los SIGs. Desde un punto de vista operacional, la definición de atracción relativa de una zona urbana puede ser muy compleja (PUMAIN et al., 1989), incluyendo la importancia de las actividades ya existentes en dicha zona, la accesibilidad de la misma, y el espacio disponible para el desarrollo de dicha actividad. La atracción relativa en los modelos matemáticos suele formularse como un probabilidad que multiplica a la demanda exterior de toda el sistema considerado (el área metropolitana). En este sentido, la atracción relativa es una variable *adimensional* y puede ponderarse desde informaciones cartográficas, como por ejemplo la atracción de industrias químicas por la superficie de industrias del mismo tipo existentes, o por medidas derivadas (potenciales, teniendo en cuenta la accesibilidad).

La explotación de la base de datos gráfica del Sistema de Información Geográfica para la documentación de modelos dinámicos consiste básicamente en la construcción de mapas temáticos susceptibles de ser cuantificados. Los mapas temáticos no son, así pues, un producto final del SIG, sino más bien un producto intermedio que sirve para conocer las capacidades de carga del territorio de cara a ciertos usos del suelo, a veces ponderadas con algunas herramientas de análisis espacial. El producto final de los modelos dinámicos: la predicción de los valores de las variables de estado bajo ciertas condiciones, sólo es susceptible de ser representado cartográficamente en un nivel muy agregado (mapas de zonas o derivados) ya que el tipo de modelos matemáticos urbanos de los que estamos tratando no predice los perfiles particulares de los usos del suelo.

#### **ASPECTOS INSTRUMENTALES.**

La conexión entre el SIG y el modelo dinámico se realiza fundamentalmente a través de la manipulación de archivos de atributos. La mayor parte de estos archivos es obtenida de fuentes estadísticas, y en los aspectos a los que nos hemos referido en el apartado anterior, a la cuantificación de mapas temáticos creados con el SIG con el objeto de conocer algunas capacidades del territorio. La Figura 1 muestra este esquema de conexiones.

**FIGURA 1: Esquema de conexión de un SIG y un modelo dinámico**



Las relaciones entre los tipos de software implicados (un programa SIG y un compilador de dinámica de sistemas) tiene lugar a través de las funciones de importación y exportación de archivos propias de un sistema operativo particular. Además de estos dos tipos de herramientas, hemos excluido del esquema otros productos de software que sirven para manipular los datos, tanto de los archivos gráficos (programas CAD, de dibujo y diseño) como de los archivos de atributos (procesadores de texto, hojas de cálculo y programas estadísticos y gráficos), tratando así de "reconfigurar estas cajas de herramientas en sistemas adecuados para proyectos de investigación particulares" (RHIND, 1989, p.189), sin tener que depender de un determinado tipo de software.

**EL SIG DEL ÁREA METROPOLITANA DE BILBAO.**

El Sistema de Información Geográfica creado para el estudio del Área Metropolitana de Bilbao a través de modelos dinámicos ha estado condicionado en su diseño por el tipo de modelos a utilizar, muy similares a los desarrollados por PUMAIN et al. (1989), siguiendo los planteamientos de la Escuela de

Bruselas, en particular, los denominados EMUS, siglas correspondientes a "Evolutionry Models of Urban Systems" (SANGLIER et al., 1989). Para calibrar dichos modelos es necesaria una abundante información temporal, con una desagregación espacial suficiente. En nuestro caso, las zonas básicas del Area Metropolitana de Bilbao estaban constituídas por ventiseis municipios, siendo posible su ampliación a treinta, y considerándose la posibilidad de la división del municipio de Bilbao en ocho distritos. El tipo de modelos al que hemos hecho referencia considera los siguientes supuestos:

1. Crecimiento logístico de las poblaciones residentes y de las actividades económicas en cada zona de la aglomeración urbana, para las cuales existe una capacidad de carga o "techo logístico" que depende, como hemos señalado anteriormente, tanto de factores físicos como de la atracción relativa de cada zona.

2. Efectos multiplicadores de las actividades económicas, tanto entre los diferentes sectores como sobre el sector residencial. Estos efectos multiplicadores se expresan bien a través de las hipótesis de la base económica urbana como a través de relaciones input-output intersectoriales conocidas empíricamente.

3. Interacción espacial entre las zonas, expresada bien mediante modelos de gravedad -cuando no existen informaciones sobre movimientos domicilio-trabajo, o bien mediante tablas de probabilidades obtenidas a través de encuestas de origen y destino.

4. Segregación residencial: los grupos con distintas características socio-económicas tienden a dominar distintas zonas del Area Metropolitana, produciéndose fenómenos de inercia por los cuales ciertos grupos se perpetúan en algunas zonas, así como fenómenos de filtración, por los cuales la mejora en las condiciones socioeconómicas de un grupo supone un acercamiento hacia zonas de mejor calidad de vivienda.

La documentación estadística disponible para el Area Metropolitana de Bilbao nos ha limitado la reconstrucción de estas variables - para calibrar el modelo - los años comprendidos entre el Censo de 1970 y el de 1991, cuyos datos han sido reconstruidos por EUSTAT (Instituto Vasco de Estadística). Los archivos de atributos creados con esta documentación, corresponden a un total de ventiseis municipios y ocho distritos de Bilbao. En este sentido existen problemas de falta de datos en algunos municipios debido a anexiones y desanexiones en el curso del período estudiado, así como el problema de la existencia de multitud de enclaves municipales, especialmente en el Valle de Asua. Los archivos de atributos ligados al SIG son los siguientes:



1. Población, en tres grupos de edad , para cada unidad espacial, en los años 1970, 1975, 1981, 1986 y 1991.

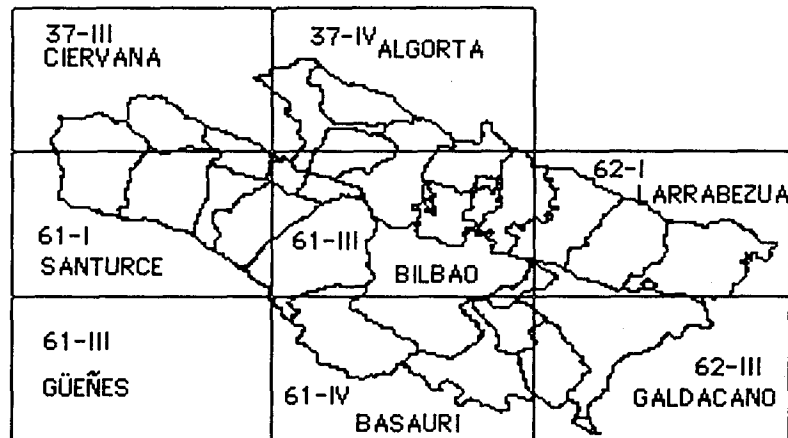
2. Población activa residente en 10 sectores de actividad (CNAE a un dígito) para las mismas fechas. De la manipulación de este fichero utilizando las técnicas de la base económica y los datos nacionales y regionales recogidos en la Encuesta de Población Activa, se obtienen las siguientes características para cada zona:

- 2.1. Población activa en el sector industrial exportador.
- 2.2. Población activa en el sector terciario exportador.
- 2.3. Población activa en los servicios regionales.
- 2.4. Población activa en los servicios locales.

3. Población activa según ocupaciones: se ha utilizado la CNO a un dígito, que nos permite, en la versión más simple del modelo separar la categoría de obreros respecto del resto de los activos.

**Figura 2: Superficie digitalizada correspondiente a las hojas de escala 1:25.000 del IGN para el SIG del Área Metropolitana de Bilbao.**

3° 11' 10"W  
43° 25' 04"N



2° 41' 10"W  
43° 10' 04"N

Además de estos archivos de atributos, y como documentación propia de los modelos dinámicos contamos con algunas encuestas de origen y destino realizadas desde finales de los años 70 hasta mediados de los años ochenta, y de las cuales, por procedimientos estadísticos hemos obtenido parámetros de

gravedad particulares de cada zona, así como tablas de probabilidades origen-destino que sustituyen a los modelos de gravedad.

Los archivos gráficos se han realizado a partir del mapa 1:25.000 del IGN, en un total de ocho hojas, tal como muestra la figura número 2. Además se ha realizado un mapa de usos del suelo, con la ayuda de la fotografía aérea -Vuelo de la Excm. Diputación de Vizcaya de 1990, que se ha digitalizado en diferentes capas sobre la base del mapa 1:25.000. El software utilizado en la digitalización ha sido de tipo AUTOCAD, creando archivos de formato vectorial susceptibles de ser exportados a través de archivos de texto para su manipulación con software Macintosh y MSDOS.

Ya que el archivo gráfico ocupa un volumen considerable de memoria (cerca de 15MB), para un manejo más fácil lo hemos desagregado en el mayor número posible de capas. El total de archivos gráficos es el siguiente:

1. Límite territorial.
2. Límites administrativos.
3. Línea de costa.
4. Hipsometría: curvas de nivel por cada 50 metros, desde la cota 0 hasta la cota 900. Una capa para cada curva. Para un manejo más sencillo se han agrupado en dos ficheros, uno correspondiente a las curvas pares (0, 100, 200...) y otro las impares (50, 150, 250...).
5. Hidrografía: cursos lineales y superficies de agua (embalses).
6. Carreteras: tres capas: vía simple, vía doble y autopistas-autovías.
7. Ferrocarriles: Cinco capas: RENFE nacional, RENFE margen izquierda, FEVE, Euskotrenbideak y red del Metropolitano.
8. Aeropuerto.
9. Superficies portuarias o de propiedad del Puerto Autónomo de Bilbao.
10. Industrias portuarias.
11. Industrias siderúrgicas.
12. Industrias extractivas.
13. Industrias químicas.
14. Otras Industrias.
15. Viviendas plurifamiliares.
16. Viviendas unifamiliares.
17. Urbanizaciones mixtas.
18. Unidades vecinales (barrios).
19. Superficie forestal.
20. Huertas urbanas y periurbanas.
21. Parques y jardines urbanos.
22. Instituciones educativas y culturales.
23. Instalaciones deportivas.
24. Hospitales e instalaciones sanitarias.
25. Grandes superficies minoristas.

## APLICACIONES DEL SIG Y LOS MODELOS DINÁMICOS AL ÁREA METROPOLITANA DE BILBAO.

El interés de aplicación de la metodología expuesta al Area Metropolitana de Bilbao reside en la particular problemática que afecta a este área urbana en el contexto de fin de siglo. Se trata de una aglomeración urbana muy afectada por la crisis industrial, en particular en la margen izquierda de la ría de Bilbao, con el inminente desmantelamiento de la cabecera de la siderurgia y la crisis añadida de los sectores metalúrgicos tradicionales. La desindustrialización llevará consigo la liberación de abundante suelo urbano destinado a otros usos.

Por otra parte, las nuevas tendencias de localización industrial lideradas por la Administración vasca apuntan hacia el emplazamiento de nuevas industrias, caracterizadas por la innovación tecnológica, en el valle de Asua, iniciando así un cambio en el modelo tradicional de localización industrial.

Además de lo mencionado la respuesta a la crisis industrial y a la pérdida de importancia de la metrópoli vasca ha motivado diferentes iniciativas que responden a sesgos políticos distintos, como las instituciones BILBAO RIA 2000 y BILBAO METROPOLI 30 con diferentes planes de actuación. También el Plan General de Ordenación Urbana de Bilbao pone especial énfasis en forzar un procesos de terciarización de la economía, tratando de atraer servicios de alta calidad al municipio central, si bien este proceso se encuentra detenido debido a la crisis económica. Las Directrices de Ordenación Territorial de la Comunidad Autónoma del País Vasco, aún en discusión, apuntan en el mismo sentido de refuerzo de las funciones terciarias e impulso de la centralidad metropolitana.

La posibilidad de poder experimentar con las distintas hipótesis de cambio, tanto en las tendencias de localización industrial, como en las de localización residencial es el objetivo de la creación de este SIG en relación con modelos dinámicos. Existen, obviamente, muchas dificultades de tipo operativo tanto respecto a la escala adecuada como a la actualización y coordinación de diferentes informaciones, aunque, no obstante, el esquema general ya ha sido construído.

### REFERENCIAS

- ALFELD, L.E. y GRAHAM, A.K. (1976): "*Introduction to Urban Dynamics*".  
Cambridge. Mass. Wright-Allen Press.
- BRUNET, R. (1980): "La composition des modèles dans l'analyse spatiale".

- L'Espace Géographique*, 4, 253-265.
- FORRESTER, J. (1969): "*Urban Dynamics*". Massachussetts. MIT Pres.
- GOULD, P.(1987): "Pensamientos sobre la Geografía" . *Geocrítica* nº 68.
- HÄGERSTRAND, T. (1973): "The domain of human geography", en Chorley, R.J. (ed): "*Directions in geography*". Londres. Methuen.
- JUARISTI, J. (1992): "Perspectivas sobre los modelos espaciales evolutivos". *Actas del V Coloquio de Geografía Cuatitativa*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. AGE: Grupo de Métodos Cuantitativos. 453-470.
- PUMAIN, D. , SAINT-JULIEN , T. y SANDERS, L. ( 1989 ): "*Villes et auto-organisation*". París. Economica. Prólogo de Ilya Prigogine.
- RHIND, D. (1989): "Computing, academic geography and the world outside", en Macmillan, B. (ed): "*Remodelling geography*". Oxford. Basil Blackwell. 177-190.
- RHIND, D. (1990): "Geographical information systems: present and future", en Suplemento a las *Actas del IV Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Palma. Universidad de las Islas Baleares. Asociación de Geógrafos españoles. 1-33.
- SANGLIER, M. y ALLEN, P. (1989): "Evolutionary models of urban systems: an application to the Belgian provinces". *Environment and Planning A*. vol 21. pp. 477-498.
- WILSON, A.G. (1981): "*Catastrophe Theory and Bifurcation. Applications to Urban and Regional Systems*". Londres. Croom Helm.