

Análisis espacial y modelos urbanos en un entorno SIG

Pau SERRA DEL POZO

Dr. en Geografía. Universidad de Barcelona.

RESUMEN: El objeto de este trabajo consiste en mostrar el modo en que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se pueden utilizar para el análisis espacial y para la simulación de modelos urbanos y, por consiguiente, para el planeamiento urbano. La presente revolución informática, iniciada en los años 80, es una de las principales causas de la incorporación progresiva de los SIG en tareas de planeamiento urbano. Se presenta en el texto el modo en que, en las nuevas circunstancias de una sociedad post-industrial, los modelos urbanos actuales y los SIG se aproximan mutuamente. Es creciente la demanda de los SIG en el planeamiento urbano y regional. Sin embargo son escasas todavía las herramientas que los SIG ofrecen para el urbanismo. Existe, por lo tanto, un gran potencial de crecimiento en la segunda mitad de los años 90 para intentar que los SIG se conviertan en verdaderos Sistemas de Apoyo al Planeamiento Urbano («Planning Support Systems»). En el presente artículo se señalan esos potenciales de crecimiento según la literatura anglosajona más reciente sobre SIG y modelos urbanos.

I. LOS MODELOS EN EL PLANEAMIENTO URBANO. LOS MODELOS «CLÁSICOS»

La bibliografía sobre modelos de sistemas urbanos y regionales es muy abundante. Esto es debido a la interdisciplinariedad de este campo y al hecho de que los modelos han trascendido el mundo académico alcanzando al profesional. Geógrafos, matemáticos, economistas, urbanistas y sociólogos se han ocupado de los modelos urbanos y regionales. Desde un punto de vista cronológico cabe dividir la bibliografía en dos grandes apartados: las obras de los años 50, 60 y 70, y las de los 80 y 90. Unas y otras son hijas de su tiempo. Las primeras, en el marco de un crecimiento urbano sin precedentes en los países más desarrollados, destacan la

necesidad del diseño y uso de modelos en el planeamiento para controlar y ordenar ese crecimiento. Las segundas, a causa de la crisis económica de los años 70 y de una consecuente crisis en el planeamiento, tienden a reconocer las limitaciones de los modelos clásicos, su determinismo y voluntarismo, a la vez que aportan importantes innovaciones teóricas.

Entre el primer grupo de obras se hallan las de McLoughlin (1969) y Chadwick (1971), con un enfoque decididamente sistémico del planeamiento y de los modelos urbanos. La serie de libros de Chorley y Hagget (1967 y 1968), sobre modelos en geografía, trata también acerca de los modelos urbanos. Minshull (1975) justifica el uso de modelos en la geografía. Krueckeberg y Silvers (1974) enmarcan los modelos urbanos en el ámbito de la metodología del planeamiento urbano, reconociendo, por fin, que los modelos no lo son todo sino sólo una parte en las fases del planeamiento. Similar enfoque está

[Recibido el 3-8-95].

presente en una obra editada por Alan WILSON (1972), en el ámbito de la ciencia regional.

Otras obras de carácter general son las de THOMAS y HUGGET (1980), FOOT (1981) y WILSON y KIRKBY (1980), dirigidas a geógrafos y urbanistas, en las que se presentan los planteamientos teóricos así como las técnicas matemáticas y estadísticas de los modelos urbanos y regionales. El libro de DE LA BARRA (1989) constituye un buen manual más actualizado.

Los trabajos de los años ochenta y noventa han traído nuevas perspectivas, a la vez que críticas de tipo teórico y operacional respecto a los modelos «clásicos» de los años 60. Los títulos de los libros constituyen en ocasiones expresiones de esas aspiraciones de cambio, como «Remodelling Geography» (MACMILLAN, 1989) o «Advances in Urban Systems Modelling» (HUTCHINSON y BATTY, 1986). Los economistas regionales aportan también aspectos metodológicos, como las obras de Walter ISARD (1982), BOYCE, NIJKAMP y SHEFER (1990) y la edición de CHATTERJI y KUENNE (1990). Una de las obras más recientes y completas es la edición publicada por BERTUGLIA, CLARKE y WILSON en 1994, «Modelling the City. Performance, policy and planning».

Buena parte de los trabajos de Bertuglia y de sus colaboradores han sido publicados a partir de finales de los años ochenta hasta la actualidad en la revista «Sistemi Urbani». Con todo, Bertuglia no se aparta del enfoque clásico de los modelos gravitatorios de los años 60 y 70, como lo muestran sus publicaciones en colaboración con Wilson (BERTUGLIA, LEONARDI y WILSON, 1990; y BERTUGLIA, CLARKE y WILSON, 1994).

1.1. Los tipos de modelos

Un sistema o un subsistema en el mundo real debe ser representado por un sistema o subsistema conceptual concreto. Esta particular representación del sistema es denominada «modelo» (CHADWICK, 1978).

THOMAS y HUGGET (1980) señalan la existencia de diversos tipos de modelos, de menor a mayor grado de abstracción:

- el modelo a escala también llamado modelo **icónico**, que consiste en una representación miniaturizada de la realidad;

es decir, difiere de la realidad sólo en el tamaño.

- el modelo **análogo**, en el que además de transformar el tamaño se abstraen o simplifican algunas de sus propiedades. Un buen ejemplo para el geógrafo lo constituye el mapa.

- el modelo **conceptual** entraña una mayor abstracción, en el que se establecen las relaciones entre los diferentes partes de la realidad o mejor, de los elementos del sistema.

- el modelo **matemático**, finalmente, se construye trasladando las ideas expresadas en el modelo conceptual al lenguaje matemático.

Para WILSON (1980) las matemáticas constituyen la base del análisis en la geografía y en el planeamiento. Una teoría bien desarrollada puede ser presentada a través de ecuaciones matemáticas. Estas ecuaciones constituyen entonces un modelo matemático que representa un sistema existente en la realidad, a pesar de que se haga de un modo simplificado. DE LA BARRA (1989) destaca la influencia de Karl Popper con la introducción del moderno método hipotético-deductivo en la moderna metodología científica, más concretamente en la metodología de los modelos. Señala asimismo la progresiva incorporación, hacia los años cincuenta y sesenta, de esta metodología a las ciencias sociales. Los métodos de las ciencias sociales tenderían a asimilarse, en consecuencia, a los de las ciencias naturales.

Por otra parte, el modelo matemático presenta otra diferencia respecto al modelo conceptual: es capaz de establecer predicciones, comprobando su validez con diferentes casos o nuevos datos de observación. Más aún, si la fórmula matemática del modelo representa con fidelidad la información introducida basada en datos de observación, las asunciones que se derivan de la formulación pueden ayudar a perfilar o explicar mejor la teoría o modelo conceptual.

El cuadro de la Figura 1 resume el marco conceptual en el que se inscriben los modelos «clásicos».

1.2. Las fases de los modelos

Sobre las fases de los modelos, además de los manuales ya citados, se puede incluir un artículo de Lowry, incluido en la edición de BERRY (1975). La clasificación de los modelos

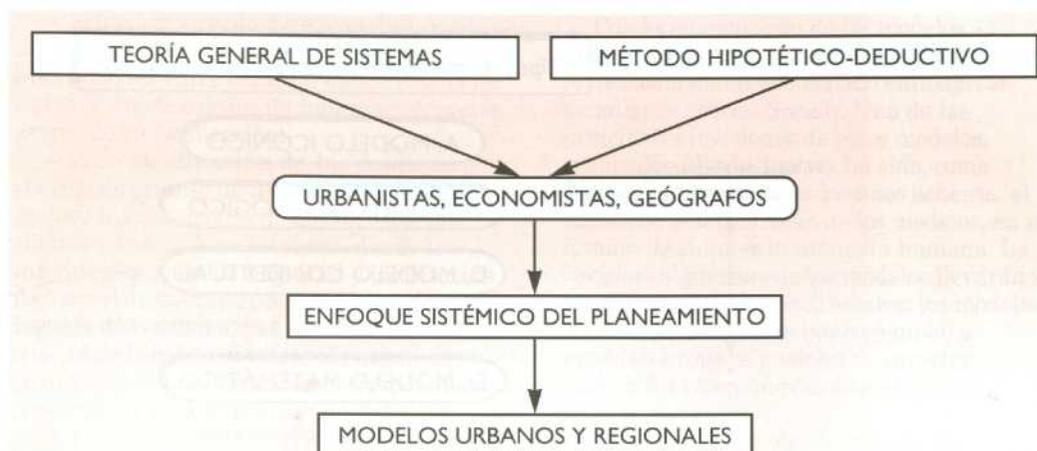


FIGURA 1. Sistemas y Método Hipotético-deductivo.

urbanos según diferentes criterios puede seguirse en THOMAS y HUGGET (1980). Las clásicas fases o etapas de los modelos se dividen habitualmente en:

- a) **Hipótesis o planteamiento del problema** (incluye la información, asunciones o tesis (modelo conceptual).
- b) **Formulación matemática** (construcción del algoritmo de simulación).
- c) **Calibración-estimación**, consistente en verificar la coherencia del modelo. La calibración implicará con frecuencia, refinar el modelo, calculando los parámetros o factores que modifican la formulación matemática.
- d) **Evaluación de los resultados**, que puede conducir a una nueva calibración del modelo hasta dar con los resultados deseados, o bien a modificar, a confirmar, o incluso a rechazar la hipótesis inicial (o modelo conceptual) para adoptar otra diversa.
- e) **Predicción de acontecimientos**: «si...entonces» («if...then»). Dadas unas circunstancias, es previsible que ocurra un determinado tipo de fenómenos. En el caso de un modelo urbano, «si se mantienen determinados procesos de urbanización en una determinada área de estudio, se puede predecir la configuración futura de ese determinado sistema urbano».
- f) **Aplicación del modelo a otros casos** («testing goodness-of-fit»). Se trata de verificar si la hipótesis particular es válida para otros casos. En caso afirmativo, el modelo o caso particular se universaliza y se

convierte en modelo general o ley (THOMAS y HUGGET 1980).

El cuadro de la Figura 2 muestra los tipos y fases en los modelos urbanos «clásicos».

1.3. Clasificación de modelos de sistemas urbanos y regionales

Según su resolución espacial. Se puede hacer una distinción en tres grupos básicos: **modelos micro-espaciales, meso-espaciales y macro-espaciales**, siguiendo a WILSON (1980). Esta taxonomía no excluye la interrelación entre modelos que caen inicialmente bajo denominaciones diferentes.

Es posible, por ejemplo, estudiar la actividad de una empresa, o de una familia, en la micro-escala. En la meso-escala (Hagget, en 1965 introdujo este término) se estudian conjuntos de empresas o actividades genéricas en varias zonas de una región. En la macro-escala, la producción total de cierto bien en una región. El uso de cada escala dependerá de cada caso, aunque es posible utilizar las aportaciones de las diferentes escalas en el estudio de una red de transportes, por ejemplo. Sin embargo, no es de extrañar que gran parte del análisis geográfico se desarrolle a nivel de meso-escala (WILSON y KIRKBY, 1980), mientras que las escalas micro y macro son más frecuentes en los trabajos de Economía.

La resolución espacial, «micro», «meso» o «macro», es, en realidad, una consecuencia de

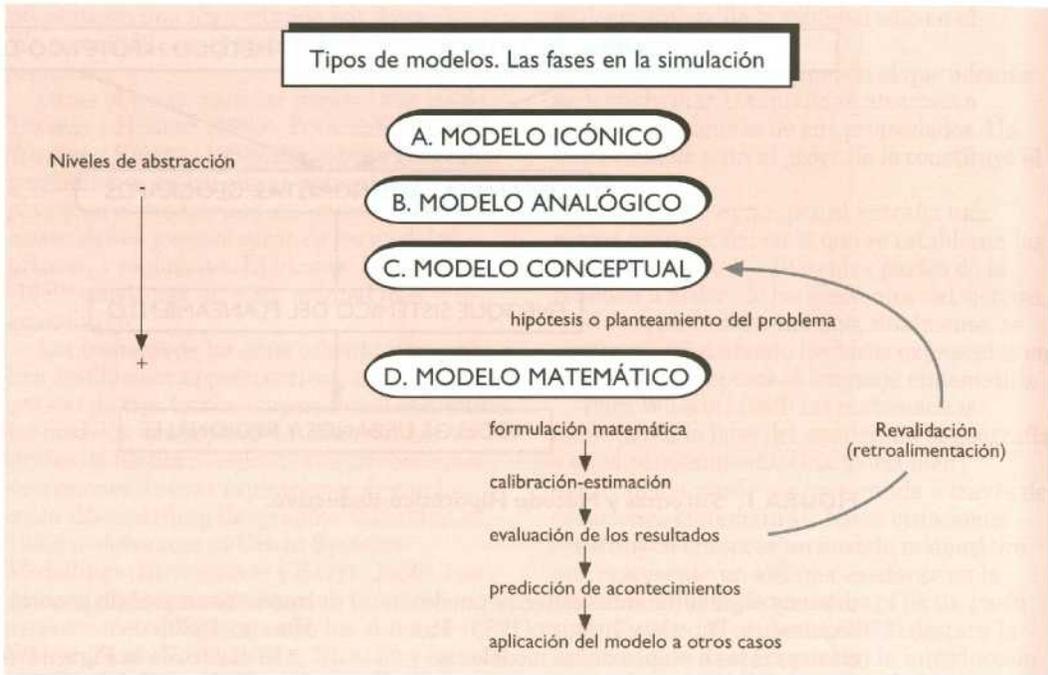


FIGURA 2. Tipos y fases de los modelos.

la teoría que subyace en cada uno de estos grupos de modelos.

Los **modelos micro-espaciales**, o **modelos de usos y precios del suelo**, se basan en la competencia perfecta de los individuos en su lucha por el espacio. El espacio es mero receptáculo de esa competencia, donde todos los actores consiguen finalmente su objetivo o provecho («utility»). El modelo tiende, por tanto, a la estabilidad, al equilibrio, configurado por un espacio monocéntrico con un máximo valor del suelo y unos círculos concéntricos de densidad o valor decrecientes (Von Thünen, Wingo, Alonso), o por una estricta red jerárquica de núcleos y áreas (Christaller, Lösch).

Los modelos micro-espaciales imponen un alto nivel de resolución, por lo que requieren una elevada cantidad de información acerca de los individuos, difícil de obtener y de gestionar en muchos casos. Por otra parte, al no contemplar variaciones respecto a la conducta humana, su determinismo supone otro inconveniente. Sin embargo, su elevada consistencia teórica les ha hecho acreedores de numerosas páginas en obras de Geografía

Humana y Urbana, destacando las obras de BRIAN BERRY (1958, 1964, 1970 y 1972).

Los **modelos meso-espaciales**, más conocidos como **modelos de interacción espacial**, tratan de resolver el exceso de minuciosidad de los modelos micro-económicos a través de la agregación de zonas y la agregación de individuos en grupos. Los primeros modelos de interacción espacial (Hansen sería el pionero) estaban basados en la analogía gravitacional, derivada del enfoque agregador, ya que el interés se centraba más en los grandes conjuntos que en las conductas individuales (DE LA BARRA, 1989). Estos modelos, al contrario que los micro-espaciales, han sido aplicados profusamente al planeamiento urbano, especialmente en modelos de transporte y usos del suelo en los años 60 y 70. Además de Hansen y Lowry (cuyo modelo combinaba de modo dinámico dos submodelos, uno de localización residencial con otro de localización de servicios), el tercer gran hito de los modelos gravitatorios de interacción espacial corresponde a Wilson, quien fijó los cuatro principales tipos de modelos gravitatorios:

– el modelo **simple de gravedad** donde se calcula únicamente el número total de interacciones entre todos los elementos de un sistema, donde sólo existe información previa acerca de su localización;

– el de **localización de los destinos** o centros de proceso de recursos humanos o materiales (estaciones de metro, escuelas, centros comerciales o fábricas), donde la información sobre la magnitud y localización de los recursos (u orígenes, por ejemplo, lugares de residencia) es conocida;

– el de **localización residencial**, donde se dispone de la información correspondiente a los centros de proceso o destinos;

– y el modelo **interzonal de flujos** (donde ambos términos, orígenes y destinos son conocidos), para la simulación del transporte a lo largo de una red.

Tanto el modelo simple de gravedad como el interzonal de flujos son asimilables a modelos de accesibilidad, mientras que los de localización residencial y de destinos estiman el potencial de localización de residencias y lugares de trabajo respectivamente.

Los modelos de localización de centros y ubicación de recursos, denominados **locate-allocate** en la literatura anglo-sajona, no aparecieron en el entorno de los modelos gravitatorios, sino en el de los modelos micro-económicos o micro-espaciales (SCOTT, 1971). Estos modelos tienen en cuenta tanto la localización de los recursos demanda en un determinado sistema espacial, como la del centro de proceso de dichos recursos y la accesibilidad de los mismos a los centros.

Los modelos de Wilson introducen también (como los modelos micro-espaciales) la condición racional del costo del desplazamiento a lo largo de la red de transporte. Igualmente, WILLIAMS (1977) propiciaría el acercamiento entre los modelos micro y meso aplicando a la teoría racional de la decisión (de inspiración micro-económica) un factor aleatorio (DE LA BARRA, 1989).

Con la introducción de los modelos gravitatorios en las Ciencias Sociales se acuñó el (probablemente demasiado entusiasta) término de «Física Social». Una de las principales revisiones de estos modelos, realizadas «desde dentro» ha sido, como destaca la literatura de los años ochenta, el exceso de determinismo de los modelos, en su intento de simular la conducta humana. La revisiones internas de los modelos llevarán a los mismos físicos que diseñaron los modelos clásicos (Wilson es un buen ejemplo) a establecer nuevos modelos de carácter probabilista, con nuevas formulaciones matemáticas.

Finalmente, Keynes inspiraría los **modelos macro-espaciales** o macro-económicos, concebidos para representar un sistema económico nacional. Más adelante, Leontieff e Isard utilizarían las tablas input-output para el estudio de economías regionales simples o compuestas. La asimilación de estos modelos con los meso-espaciales fue una realidad cuando el modelo interzonal de flujos de Wilson tuvo su traducción en el ámbito macro-espacial como modelo de gravedad aleatorio input-output. Asimismo el modelo complejo de Lowry tuvo una versión macro-espacial con el sistema input-output de MacGill. El modelo input-output es un poderoso medio para representar una economía nacional o regional. Tiene especial interés su aplicación para la planificación económica nacional o regional, como el estudio del impacto de las oscilaciones de un sector económico en los demás (DE LA BARRA, 1989).

Según el grado de exactitud en la predicción. THOMAS y HUGGET (1980) distinguen los modelos en dos fundamentales grupos, **deterministas y probabilistas**. Los primeros son más utilizados por las Ciencias Naturales, mientras que los segundos son más propios de las Ciencias Sociales ya que no existen leyes exactas que rijan la conducta

Comparación de las características de los modelos urbanos y regionales

	Modelos de Usos y precios del suelo	Modelos de interacción espacial	Modelos de economía regional
Escala	Micro	Meso	Macro
Presupuestos	Utilidad y equilibrio	Entropía e incertidumbre	Equilibrio de un sistema cerrado
Variable espacial	Puntos y redes	Zonas y redes	Zonas
Valor	Teórico-descriptivo	Predicción (Urban planning)	Teórico-descriptivo

humana. En el caso de los modelos de sistemas urbanos con frecuencia se destaca en los modelos probabilistas su pertenencia dicho grupo, mientras que en los no-probabilistas se suele omitir el hecho de que efectivamente son deterministas.

Los modelos deterministas están con frecuencia ligados además al nivel de resolución micro-espacial, aunque también se encuentran ejemplos deterministas en otros niveles espaciales. Los modelos probabilistas frecuentemente se asocian con modelos de escala meso-espacial. Son estos modelos los que han tenido mayor aceptación en dominios más prácticos, tales como los equipos de planeamiento urbano y de transportes, fundamentalmente a nivel local (municipal o similar).

Según la consideración del tiempo. Los modelos son **estáticos** si explican el estado de un sistema en un determinado momento en el tiempo. Si el sistema se mantiene inalterado, esto es, en equilibrio, el análisis matemático se considera de modo estático. Si, por el contrario, aparece algún cambio, el modelo buscará las «fuerzas» que harán que el sistema vuelva a lograr el equilibrio. Es posible obtener modelos **comparativamente estáticos** o a través de la asunción del **equilibrio**. Estas fuerzas se relacionan con la **maximización** o **minimización** de la cantidad, servicio, bien o provecho («utility») que está en juego en el sistema. Las fuerzas de maximización o minimización tienden a aumentar el provecho económico, por ejemplo, o a reducir costos, como el tiempo o la distancia invertidos. Es clásico el ejemplo del trabajador que recorre todos los días un mismo itinerario. Cuando un cambio acontece en ese «sistema», el usuario se adapta a él y así se obtiene una nueva situación de equilibrio. En el caso de un conductor, éste buscará maximizar su tiempo en la red urbana de calles, por ejemplo, tras la construcción de una nueva calle que mejora su acceso al lugar de trabajo o ante un embotellamiento imprevisto.

Los modelos **dinámicos** deberían ser capaces de representar el proceso de cambio o la evolución a lo largo del tiempo. La principal dificultad, sin embargo, estriba en que la variable tiempo debe ser considerada en los cálculos matemáticos de modo discreto, no de modo continuo, por lo que aún no se han obtenido resultados definitivos (WEGENER y otros, 1986). Los modelos dinámicos se asocian frecuentemente a los modelos probabilistas, ya que la conducta humana, impredecible en

muchas ocasiones, puede variar a lo largo del tiempo. René THOM (1975), matemático francés, fue el autor iniciador de la teoría de la catástrofe, la cual constituyó un nuevo enfoque en la simulación dinámica, presentando un modelo probabilista. ZEEMAN (1977) interpreta la teoría para su aplicación a los modelos de sistemas urbanos, presentando los pasos a seguir en el desarrollo de modelos dinámicos. WILSON y KIRKBY (1980) ofrecen un capítulo de su manual a la teoría de catástrofes. WILSON (1981) dedica un libro completo al tema del punto crítico y la bifurcación. No se han producido numerosas aplicaciones de los modelos dinámicos al planeamiento en los años ochenta debido a la crisis que los modelos han sufrido en esos años, con la excepción de los modelos de transporte. Sin embargo, tal como Wilson y KIRKBY (1980) señalan, las posibilidades del enfoque probabilista aplicadas al planeamiento pueden ser ciertamente útiles.

El cuadro de la Figura 3 muestra los principales tipos de modelos «clásicos» y su evolución e interrelación con otros modelos.

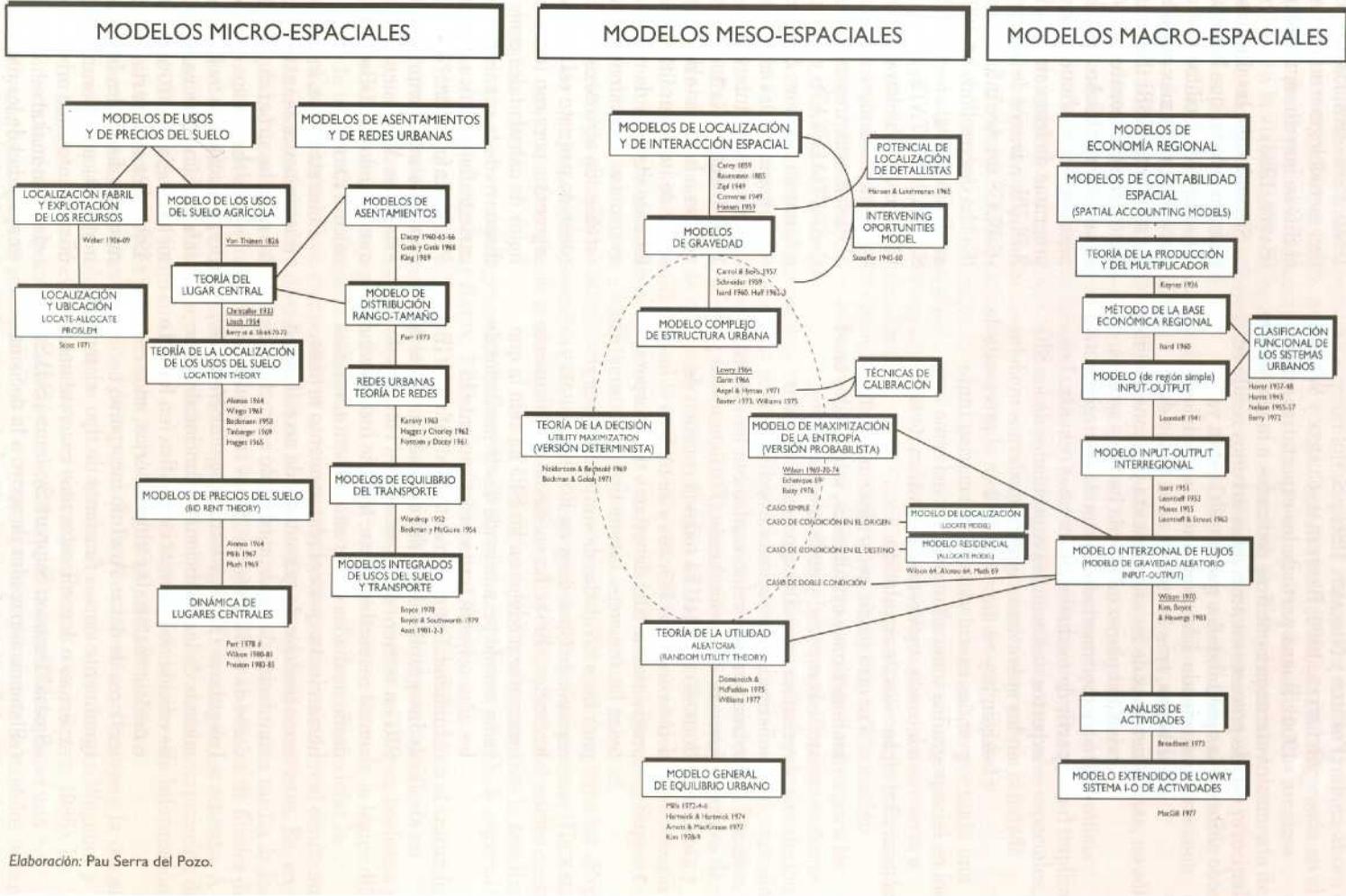
2. RECIENTES ENFOQUES EN LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS URBANOS Y REGIONALES

Los trabajos de HUTCHINSON y BATTY (1986), MACMILLAN (1993), CLARKE y WILSON (1989), así como BERTUGLIA, CLARKE y WILSON (1994) ofrecen varias panorámicas de carácter histórico así como sobre el futuro de los modelos urbanos y regionales (1). Las conclusiones son de carácter más bien positivo, aunque los autores señalan también las limitaciones históricas de la simulación.

Las tendencias más recientes señalan la progresiva confluencia de intereses de geógrafos y economistas en los modelos urbanos y regionales en un «entorno SIG». Se produce, pues, un acercamiento de los modelos urbanos hacia los SIG y recíprocamente, de los SIG hacia los modelos urbanos. De este recíproco acercamiento se trata a continuación.

Economistas, urbanistas y geógrafos han visto en los últimos años en los Sistemas de Información Geográfica nuevas expectativas para la mejora de los modelos que

(1) Durante 1995 se prevé la publicación de la obra *From GIS to PSS* (Klosterman, editor).



Elaboración: Pau Serra del Pozo.

FIGURA 3. Modelos urbanos y regionales.

tradicionalmente se venían desarrollando (FISCHER y NIJKAMP, 1993 y SCHOLTEN y STILWELL, 1990; BERTUGLIA, CLARKE y WILSON, 1994). Buena parte de las expectativas de los veteranos científicos dedicados a la simulación de procesos en ambientes urbanos reside en las posibilidades que los SIG están ya ofreciendo. Efectivamente, los modelos urbanos, tras la euforia de la teoría de sistemas de los años sesenta y la consecuente crisis del planeamiento de los años setenta, han experimentado un tímido resurgimiento a partir de mediados de los años ochenta. Los expertos destacan las capacidades de los SIG en las operaciones que los modernos modelos exigen hoy en día: velocidad en el procesado de grandes cantidades de información tanto gráfica como alfanumérica, así como una adecuada representación gráfica de los procesos de simulación.

Por otra parte, geógrafos cuantitativos, matemáticos y estadísticos, interesados en el análisis espacial y en la geoestadística, reclaman unos SIG capaces de efectuar sofisticadas operaciones estadísticas, estrechamente relacionadas con los diferentes procesos de la simulación (FOTHERINGHAM y ROGERSON, 1994). Es todavía cuestión de debate entre los teóricos y científicos si los programas de SIG deberían o no incorporar todas las funciones estadísticas y matemáticas para las actividades de simulación (ver el capítulo de Openshaw en FOTHERINGHAM y ROGERSON, 1994). La opción de efectivamente incorporar modelos en los SIG ha sido la que se ha venido promoviendo desde mediados de los años ochenta hasta prácticamente la actualidad. Concretamente, Arc/Info y MGE de Integraph, líderes del mercado mundial de SIG en número de licencias y en volumen de ventas respectivamente, han ido incorporando, desde mediados de los años ochenta, valiosas herramientas para el planeamiento urbano, como modelos de gravedad y de accesibilidad, simulación de redes, modelo de estructura de datos de celdillas (*grid*), redes triangulares irregulares (*Triangulated Irregular Network*), además de las tradicionales funcionalidades de edición de información gráfica (en formato o modelo vectorial) y alfanumérica, en matrices de datos. Arc/Info incorpora igualmente ciertas funciones de tipo «sistemas expertos» o denominados más concretamente «Spatial Decision Support Systems», S.D.S.S. («Sistemas espaciales de apoyo a la decisión»), como funciones de simulación de escenarios de

crecimiento urbano (ENACHE, 1994; FEDRA, 1990). Para otros, los S.D.S.S. no son sino una metodología o marco de trabajo en el que el SIG se inserta como una pieza más (BATTY, 1993).

Sin embargo, las últimas tendencias parecen señalar que la segunda opción consistiría en facilitar la conexión de los SIG con otros programas de análisis estadístico. De momento, ESRI (Environmental Systems Research Incorporated), la compañía que desarrolla el SIG Arc/Info, ha establecido un nexo dinámico («handshaking») con el programa de lenguaje estadístico sofisticado, S-PLUS, a través de la promoción del producto «S-PLUS for Arc/Info». Por su parte S-PLUS (S+) ha desarrollado en 1995 un módulo de análisis estadístico espacial denominado S+SPATIALSTATS, tanto para plataformas UNIX como Windows. Según fuentes de la empresa diseñadora de estos dos productos, Mathsoft está preparando un «interface» entre S+SPATIALSTATS y el popular SIG de sobremesa Arcview. SPACESTAT constituye otro programa de análisis espacial que dispone de ese «interface» con Arcview desde 1995. BAILEY y GATRELL (1995) ofrecen una versión a bajo costo del programa INFOMAP, capaz de importar información geográfica en formato digital y de realizar funciones avanzadas de análisis espacial. Mapinfo ha establecido otro nexo con S.P.S.S., un conocido paquete estadístico. En el mismo segmento, pero con una dimensión menor, hojas de cálculo tales como Excel i Lotus 1-2-3 disponen de la capacidad de crear cartografía temática. Por otro lado, Arcview, PC Arc/Info y Atlas*GIS trabajan, desde sus versiones más tempranas, con ficheros de extensión .DBF, siendo susceptibles de ser manipulados en DBase III y IV y en la hoja de cálculo Excel.

Concretamente, los aspectos en los que recientemente se insiste para una mejora en los modelos urbanos y regionales son:

- modelos menos complejos y más pragmáticos. Los modelos «clásicos» enfatizaban excesivamente la teoría y la metodología (BERTUGLIA, CLARKE y WILSON, 1994). Por otra parte, los resultados de los modelos, diseñados frecuentemente por matemáticos, no eran transmitidos eficazmente a los urbanistas ni a los políticos («decision-makers»). Era necesario cambiar la complejidad de los modelos por una mayor operatividad y pragmatismo.

– una más apropiada consideración de los aspectos cualitativos (como señala NIJKAMP, en HUTCHINSON y BATTY, 1986), con menos atención por la precisión matemática y mayor énfasis en la visualización («display») de los resultados en Sistemas de Información Geográfica (BATTY y XIE, 1994).

– modelos a corto plazo. La crisis de los años setenta supuso una importante desaceleración económica y urbana. El planeamiento clásico de los años cincuenta y sesenta estaba concebido para controlar un crecimiento que se consideraba ilimitado. La crisis hizo cambiar la mentalidad de los planes y modelos. A partir de entonces sería necesario diseñarlos a corto plazo, dado que se reconsideraba el desarrollo económico como un fenómeno impredecible a largo plazo.

– modelos de menor ámbito espacial. Los modelos «clásicos» a menudo simulaban sistemas espaciales de grandes dimensiones, tales como estados en EE.UU. o incluso naciones, como en los modelos macroeconómicos. El posterior rechazo a este exceso de voluntarismo puede conducir al otro extremo, el de la excesiva fragmentación espacial. Por ejemplo, en EE.UU., la actividades de planeamiento de entidades metropolitanas (de tipo «Council of Governments», reunión o consejo de administraciones locales) son sólo de investigación, ya que sólo las administraciones locales (los municipios y los «counties» o condado) tienen competencia en materias de ordenación urbana.

– modelos con mayor desagregación de unidades espaciales (HARRIS y BATTY, 1993; LANDIS, 1995). Los modelos «clásicos», especialmente los de interacción espacial, utilizaban un sistema espacial de zonas genéricas excesivamente agregadas. Era difícil simular la interacción entre zonas utilizando los centroides de las mismas, e imposible el simular la interacción dentro de cada zona. La disponibilidad de información desagregada generada por agencias estatales o federales (como el «Census Bureau», Oficina del Censo o el «United States Geological Survey», Servicio Geológico de los EE.UU.), junto con la revolución informática que ha popularizado los microordenadores con gran capacidad de almacenamiento y elevada velocidad de procesado, han favorecido efectivamente la simulación de modelos de gran desagregación espacial, y por tanto de gran precisión geográfica. La influencia de los SIG en este

aspecto es obvia. La simulación del tráfico en redes de transporte cuenta también ahora con una sustancial mejora de la precisión en el proceso de la información. Los arcaicos modelos de redes disponían únicamente de nodos en las intersecciones de las principales autopistas y arterias. Ahora es posible obtener una red de transporte con gran precisión geométrica y con los nodos de las intersecciones de calles secundarias, no sólo con los de las vías principales.

– modelos con capacidad de análisis espacial. La desagregación espacial implica una multiplicación de unidades espaciales, lo cual parece negar el principio señalado anteriormente de «simplicidad y pragmatismo». Se requiere, por tanto una mayor capacidad de análisis espacial en los sistemas de información que convierta o traduzca una gran cantidad de información espacial cuantitativa en información cualitativa que sea significativa para los urbanistas y políticos o «decision-makers». Esta capacidad de análisis y de simulación ha de ser tal que esos sistemas de información, SIGs, se transformen en «Spatial Decision Support Systems», Sistema Espaciales de Apoyo a la Decisión (BERTUGLIA, CLARKE y WILSON, 1994) o, siguiendo la terminología de BRITON HARRIS (1989), «Planning Support Systems», Sistemas de Apoyo al Planeamiento. También denominados «Expert Geographic Information Systems» (HEIKKILA, MOORE y KIM, 1990). Este es el núcleo central del debate que hoy día atraviesa la temática de los modelos urbanos y análisis espacial en un entorno SIG.

– una mayor flexibilidad en el tratamiento de la información, que se manifieste en procurar alternativas a la lógica booleana y un acercamiento hacia la llamada la lógica difusa o «fuzzy logic». Se trata de modelar la incertidumbre, en un mundo real donde no existen límites espaciales estrictos. Es, en cierto modo, una consecuencia tardía de los modelos urbanos probabilistas de finales de los años setenta e inicios de los ochenta. A nivel teórico ya se prevé la incorporación de la «fuzzy logic» a los Sistemas de Información Geográfica, SIG (SUI, 1994);

– la consideración del tiempo o la «escala temporal», como la denominan Wegener y otros (en HUTCHINSON y BATTY, 1986). La simulación temporal debe tener una importante presencia en los modelos urbanos. No está resuelta, sin embargo, esta cuestión

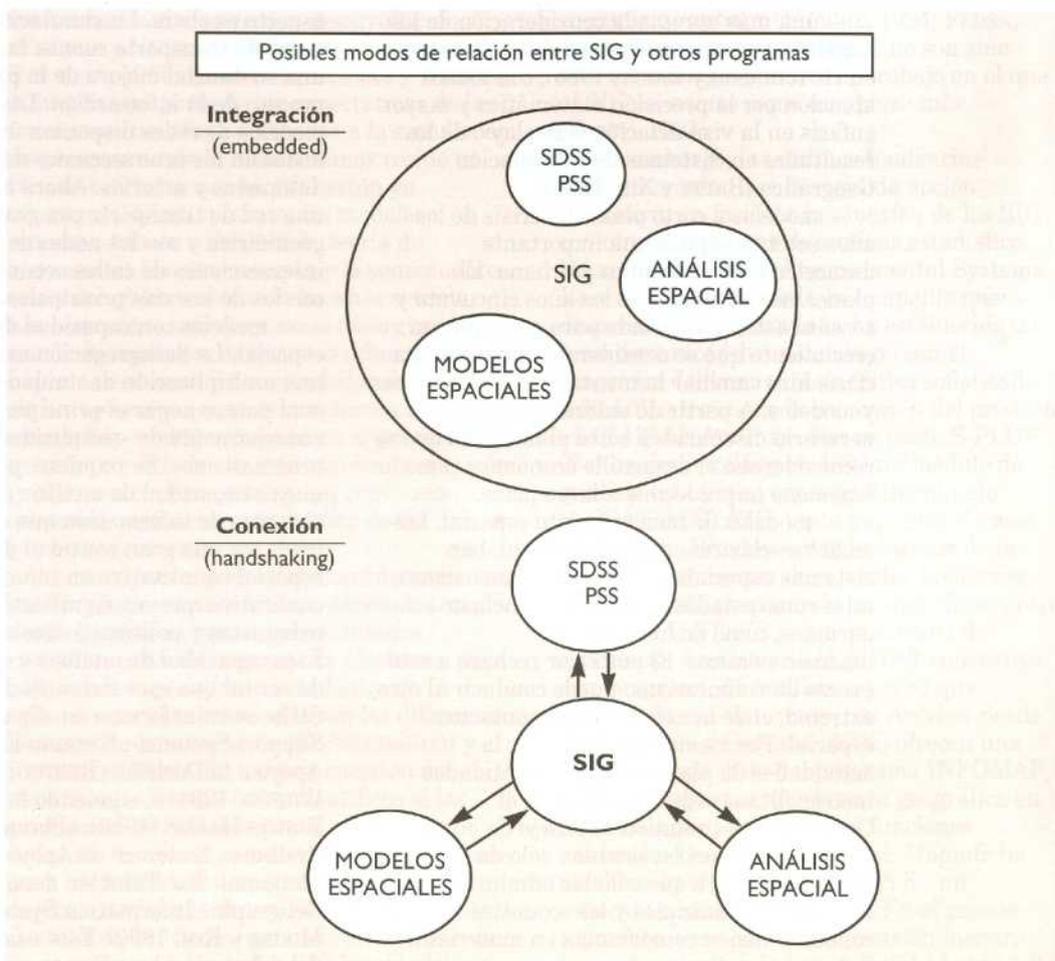


FIGURA 4. Integración de modelos y SIG.

en los modelos urbanos. Tampoco existe una solución definitiva en los Sistemas de Información Geográfica (HARRIS y BATY, 1992; BATY, 1993). Es escasa la experiencia en este terreno, además de que resulta muy costoso construir bases de datos espacio-temporales. OPENSHAW (1994), PEUQUET (1994) y LANGRAN (1992), entre otros, aportan interesantes valoraciones sobre este aspecto.

- la consideración de las decisiones de carácter urbano-espacial a diferentes niveles: promotores, administraciones locales, regionales, etc. KIM (1989) lo expresa con la denominación de «modelos multiniveles» en el entorno de sistemas expertos.

- la consideración de la variable ambiental en los modelos. La ley norteamericana

Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA), aprobada en 1991, señala de un modo oficial un cambio de mentalidad en el planeamiento urbano en los EE.UU. No se persigue ya la mera eficacia o maximización en el transporte privado, la reducción de los costos de desplazamiento, sino más bien la minimización de los costos ambientales que el transporte (sobre todo el privado) genera, como la congestión, la contaminación atmosférica y acústica, los impactos de nuevas infraestructuras en el territorio. La necesidad que esta ley impone de realizar estudios de evaluación ambiental para cualquier proyecto con incidencia territorial o ambiental ha conducido igualmente a rediseñar los modelos. La nueva generación de modelos urbanos de

los años 90 no sólo van a integrar los usos del suelo y el transporte, la tradicional aspiración de los modelos «clásicos», sino que también van a procurar incluir igualmente la evaluación ambiental. Este hecho ha constituido otro factor o explicación del por qué los modelos han aumentado su escala, trabajando con unidades espaciales más reducidas (WEGENER, 1995). Ha provocado, a su vez, otro fenómeno, el uso de diversos modelos, utilizando con frecuencia el SIG como base de datos espacial, y trasvasando los datos del SIG a otros modelos o programas (de transporte, medio-ambientales, etc.), devolviendo los resultados al SIG para su visualización. Este es el caso de recientes modelos, como los de LANDIS (1995) y AIFANDOPOULOU y otros (1995). La intercomunicación de diferentes programas espaciales y no-espaciales es lo que BATTY y XIE (1994) apoyan igualmente.

– el recíproco acercamiento entre modelos urbanos de tradición económica y SIG. Como consecuencia de los puntos señalados anteriormente, se ha producido un efectivo acercamiento de los modelos hacia los SIG y de los SIG hacia los modelos. La ponencia de WEGENER (1995) en la reunión «Land Use Model Conference» destaca la existencia de varios modelos urbanos que están incorporando funciones de SIG, tales como TRANUS, diseñado por De la Barra y su equipo, en Venezuela; MEPLAN, diseñado por Echenique y sus colaboradores en Cambridge (Reino Unido); ITLUP, desarrollado en Philadelphia (Pennsylvania, EE.UU.). Entre los promotores del movimiento SIG-modelos urbanos se pueden destacar los modelos CUFM, desarrollado en Berkeley (California, EE.UU.) por LANDIS (1995); el diseñado por BATTY y XIE (1994) en el National Center of Geographic Information Analysis en Buffalo (estado de New York, EE.UU.) y el Aifandopoulou y otros, (1995), con un «sistema de apoyo al planeamiento» para la ciudad de Budapest.

3. MODELOS DESCRIPTIVOS, PREDICTIVOS Y PRESCRIPTIVOS EN LOS SIG

La metodología para la simulación de sistemas urbanos se ha transformado sólo parcialmente. Se mantiene el presupuesto

sistémico en los modelos. El ámbito espacial de los modelos variará, pero se sigue reconociendo el hecho sistémico: las áreas metropolitanas constituyen sistemas urbanos, y como tal se trata de simular sus elementos y relaciones para detectar y localizar el exceso de externalidades y la carencia de bienestar. El planeamiento urbano llevado a cabo por las autoridades locales competentes procurará solventar los problemas que la iniciativa privada u otros factores, provocan o no son capaces de solventar (WEBSTER, 1993).

Por otro lado, se asiste a un cambio parcial del «background» o enfoque metodológico. El método hipotético-deductivo no aparece ya como deseable a la hora de confeccionar los modelos urbanos (BATTY y XIE, 1994). La plétora de datos disponible en esta era de la información facilita más el uso del método inferencial-inductivo. Los modelos van a construirse ahora «a partir de la realidad», a partir de los datos disponibles, no buscando el cumplimiento de una u otra teorías micro o macroeconómicas, sino siguiendo a lo que los datos (una traducción poco afortunada del inglés «data») dicen. En este contexto, el análisis espacial, todavía poco desarrollado en los SIG, debería jugar un importantísimo papel, para convertir los datos en información y la información en conocimiento (HARRIS y BATTY, 1993). La incorporación de los SIG al planeamiento a partir de los años 80 supone de alguna manera el retorno o «revival» del positivismo de los años 50 en EE.UU. En ambas décadas 50 y 80 se produce un fuerte crecimiento económico. Modelos y SIG responden a la «necesidad» de controlar el crecimiento urbano (HARRIS y ELMES, 1993).

En este relativo abandono del método hipotético-deductivo, los modelos descriptivos, predictivos y prescriptivos tienen más importancia que las férreas fases de la simulación clásica. Los SIG tienen excepcional importancia en los **modelos descriptivos** en cuanto que son (los SIG) herramientas gracias a las cuales se introduce, almacena y visualiza la información de carácter espacial. Esta son las principales funciones de la mayoría de los SIG en el planeamiento hoy día (HARRIS y BATTY, 1993; WEBSTER, 1993).

Los SIG, efectivamente, son capaces de introducir, almacenar y visualizar, la información espacial, en dos principales modelos de datos: el vectorial, basado en objetos («object oriented», PEUQUET, 1994), y el «raster» o de celdillas, basado en la

localización («location-oriented», PEUQUET, 1994). Los objetos del modelo de datos vectorial contienen cero, una o varias dimensiones. Los de «cero dimensión» son puntos, representando por ejemplo lugares de residencia y de trabajo, en una escala urbana o metropolitana, o ciudades en una escala regional o nacional. Los objetos de «una dimensión» o líneas, pueden representar redes, tales como ríos, carreteras, alcantarillas, etc. Los objetos con «dos dimensiones» son áreas, regiones o polígonos (según las terminologías de diferentes SIG). La «tercera dimensión» corresponde por lo general a los modelos de relieve. Está sólo disponible en los SIG más avanzados. Por último, la «cuarta dimensión» corresponde al tiempo. En el planeamiento la dimensión temporal es muy importante, por cuanto muchos modelos tienen en cuenta la simulación de tendencias observadas en el pasado para realizar predicciones para el futuro. Sin embargo, la vertiente temporal en los SIG es todavía una asignatura pendiente, como se ha señalado anteriormente.

Tanto puntos como líneas y zonas son utilizados profusamente en los modelos urbanos y en el planeamiento. En el planeamiento habitualmente interesan objetos reales de los sistemas que se trata de simular: distritos urbanos, localizaciones concretas de residencias o de empresas, calles, etc. En el modelo vectorial es posible relacionar los objetos con atributos de tipo alfanumérico. Estos atributos se almacenan en una base de datos relacional. Las entradas («records») de la base de datos alfanumérica contienen un atributo o campo que es común con los objetos o entidades de la base de datos geográfica. Este hecho de gran importancia para la aplicación de los SIG al planeamiento. El modelo vectorial de los SIG permite introducir fácilmente información tabular o alfanumérica referente a los objetos geográficos, añadir nuevos campos o variables en la base de datos, y realizar cálculos numéricos. Los SIG permiten, por tanto, introducir los datos referentes a la oferta y demanda de los objetos geográficos en los determinados sistemas espaciales, tal como los modelos urbanos y regionales tradicionalmente han ido usando, realizar los cálculos matemáticos correspondientes a cada tipo de modelo.

El modelo de datos vectorial representa objetos geográficos «discretos», en contraposición con las representaciones

geográficas «continuas», como modelos de relieve o modelos de contaminación aérea. El modelo de datos raster o de celdillas es el que habitualmente representa el espacio «continuo», no dividido en objetos discretos. El modelo de datos «raster» ha tenido menos aplicación al planeamiento. Se pueden aducir varias razones: una mayor sofisticación o dificultad técnica en la generación de modelos «raster»; la no disponibilidad de generación de modelos de relieve en todos los programas de SIG; y una menor importancia concedida tradicionalmente en los modelos urbanos «clásicos» a la variable ambiental.

Medidas estadísticas descriptivas y la capacidad de generar gráficos (diagramas de barras, «scatterplots», etc.) completan el modelo descriptivo en un SIG. Algunas de estas funciones están disponibles en algunos SIG (Arcview o módulo Grid en Arc/Info). En otros casos, se precisa exportar los datos a otro programa, comúnmente una hoja de cálculo, o bien diseñar un «interface» en el propio SIG (2).

Los otros dos tipos de modelos, **predictivos y prescriptivos** son de, alguna manera, secuenciales. Ambos modelos asumen la existencia de un modelo descriptivo existente, en otras palabras, precisan de una base de datos geográfica con la cual van a operar. Los datos, la base de datos geográfica si se prefiere, conducen los diferentes niveles de simulación, descriptiva, predictiva, prescriptiva, al contrario que en los modelos «clásicos», más encaminados en el cumplimiento de una teoría preconcebida (HARRIS y BATTY, 1993). Son muy escasos aquellos SIG que disponen de funciones para desarrollar **modelos predictivos o prescriptivos** en el ámbito del planeamiento urbano o de las ciencias sociales.

Son ciertamente comunes los SIG con funciones de **carácter predictivo** para la simulación de aspectos físicos, con aplicaciones a la geografía física, la climatología, la geología, la hidrología, tales como la interpolación de valores en celdillas o puntos a partir de otros puntos donde sí se tienen datos. Estos modelos predictivos con funciones de geo-estadística inferencial, son, sin embargo, de carácter espacial, no temporal. Es precisamente la conjunción de

(2) Cfr. el capítulo de BATTY y XIE (1994). Ambos desarrollaron un «interface» para el análisis descriptivo en Arc/Info a través del lenguaje macro de programación AML.

las dos variables, espacial y temporal la que interesa al planeamiento urbano.

Los **modelos predictivos de carácter espacio-temporal** deberían responder a la pregunta: ¿cuál será la distribución espacial de población y puestos de trabajo si las tendencias observadas se mantienen? Sin embargo, la pregunta tiene más interés desde el punto de vista temporal que desde el espacial. Esto es debido a que las unidades espaciales o zonas en este modelo predictivo no van a cambiar «geoméricamente». Sí lo harán sus atributos numéricos (número de habitantes, número de puestos de trabajo, etc.). Por lo tanto, otro modelo de tipo no-espacial o a-espacial puede resolver la pregunta, desde un programa externo al SIG (WEBSTER, 1993). La variable temporal es, además, uno de los aspectos menos desarrollados en los SIG, pese a que ciertamente se realiza investigación en este campo. No parece aconsejable, por otro lado, que el SIG tenga que incluir simulaciones de tipo no-espacial. El SIG es un sistema que almacena, procesa y visualiza información de tipo espacial, por lo tanto está estructurado espacialmente. De aquí se pueden deducir dos aspectos: la no necesidad por parte de los SIG de incluir toda clase de funciones estadísticas no-espaciales; por otro lado, la necesidad de considerar variables no-espaciales en el planeamiento desde fuera del SIG. El SIG interviene en el planeamiento sólo como una herramienta más.

En el tercer estadio, **los modelos prescriptivos** completan el ciclo del planeamiento. Los modelos prescriptivos deben responder a la pregunta: ¿qué pasaría (en este determinado sistema urbano representado por un modelo descriptivo) si, por ejemplo, se instalara una gran superficie comercial (hipermercado) con un determinado volumen de posible facturación (oferta) en este sitio? ¿Tendría esa gran superficie comercial suficiente demanda? Este tipo de modelo es el que se conoce como **modelo de localización**, muy común en la tradición micro y meso-económica.

Un modelo predictivo en un entorno SIG debería tener, por tanto, un enfoque económico, en el sentido de que debería ser capaz de realizar análisis de oferta y demanda. El enfoque económico no se ciñe al aspecto lucrativo de iniciativas con repercusión territorial. Incluye, igualmente, el servicio (oferta) que una administración local o regional puede proveer a los ciudadanos (demanda) a los que se dirige. El concepto de **accesibilidad** aquí es muy importante, ya que el modelo predictivo en un SIG debería ser capaz de calcular la accesibilidad de un modo realista, midiendo las distancias que separan a los puntos o zonas donde se localiza la demanda (hogares de los ciudadanos) del centro al que se desplazan. Estas distancias solían medirse, en los modelos «clásicos» en «línea aérea». Los SIG permiten el cálculo preciso de las distancias, a través de las redes de transporte, en este caso, las calles. No son numerosas las experiencias de modelos predictivos de accesibilidad a nivel metropolitano utilizando modelos de interacción espacial, donde es costoso obtener una red de transporte y la localización de los puntos o zonas de oferta y demanda (3). Otra razón consiste en la diversidad de modelos de datos que intervienen en los cálculos de la accesibilidad: redes, nodos, polígonos, centroides (4). Existen, sin embargo, diversas experiencias de potenciales de accesibilidad a nivel nacional (5).

El otro tipo de pregunta que un modelo prescriptivo debe responder es similar a la anterior, pero más completa: en el supuesto de instalar uno o diversos centros (como el hipermercado o una cadena de hipermercados en un área metropolitana), ¿cuál sería la localización óptima de los mismos, de manera que se pueda planificar el volumen o capacidad (oferta) de esos centros en función de un acceso equitativo (en términos de costo sea tiempo de conducción de automóvil, sea distancia) de la población (demanda) a esos centros? Esta pregunta es la que los modelos de localización de centros y de distribución de recursos pueden contestar. En la tradición

(3) Por ejemplo, LANDIS (1995) no utiliza interacción espacial para el cálculo de la accesibilidad en un área metropolitana (pese a que tiene previsto hacerlo próximamente), sino que genera buffers a partir de la red de transporte.

(4) Originariamente, los datos sobre la demanda corresponden a micro-zonas y zonas agregadas a partir de las primeras («census block», «tract» en EE.UU., o secciones censales y distritos). No es

posible en los SIG realizar cálculos de accesibilidad entre las zonas entre sí o entre las zonas y centros (hospitales, escuelas, etc.) representados por puntos o por zonas. Es preciso antes transferir los atributos de las zonas a sus respectivos centroides e integrarlos de algún modo en la red.

(5) Cfr. GEERTMAN y RITSEMA VAN ECK, 1995 y GUTIÉRREZ PUEBLA, 1994.

anglosajona microeconómica estos modelos se denominan **locate-allocate models**. Son similares a los de localización, utilizan igualmente conceptos de accesibilidad, pero introducen la variable del costo del desplazamiento por parte de aquello o quienes representan la demanda.

4. CONCLUSIONES

En el anterior apartado se han destacado de un modo más concreto las posibilidades de aplicaciones de los SIG a los modelos urbanos. A lo largo del texto se ha tratado en general de los SIG, citando diversos modelos cuando ha sido preciso. Hay que algunas empresas diseñadoras de SIG, como ESRI o Intergraph han liderado la progresiva incorporación, a lo

largo de los años 80 y 90, de sofisticadas funciones para el desarrollo de modelos urbanos y regionales. Otros programas de análisis estadísticos han procurado el acercamiento a los SIG. En fin, otros productos de «software» que se autodenominan SIG o sin más de «desktop mapping» llevan a cabo simplemente funciones de edición de la base de datos gráfica o alfanumérica o sin más tareas de cartografía temática. Las tendencias del mercado informático, como la progresiva sustitución de programas en plataforma UNIX por la plataforma Windows NT está provocando la popularización de las herramientas SIG. Tal vez en estos próximos años veamos por fin la consolidación de los SIG al geo-marketing y a la gestión territorial en las empresas y en las administraciones públicas españolas.

BIBLIOGRAFÍA

- AIFANDOPOULOU, Georgia; NATHANAIL, Teti y PANAYOTAKOPOULOS, Demetrios (1995): «Etis: A GIS technology based tool for supporting strategic environmentally friendly planning of urban transport infrastructure development»; *ESRI Users Conference Proceedings*; <http://www.esri.com>.
- BATTY, Michael (1993): «Using geographic information systems in urban planning and policy-making»; en FISCHER, M. M. y NIJKAMP, P. (1993) *Geographic information systems, spatial modelling, and policy evaluation*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York.
- y XIE, Yichun (1994): «Urban analysis in a GIS environment: population density modelling using ARC/INFO»; en FOTHERINGHAM, Stewart y ROGERSON, Peter, eds. (1994) *Spatial Analysis and GIS*; Taylor and Francis, colección General Issues in Geographic Information Systems; London y Bristol (PA, USA).
- BERTUGLIA, C. S.; CLARKE, G. P. y WILSON, A. G., eds. (1994): *Modelling the City. Performance, policy and planning*; Routledge; London y New York.
- BERTUGLIA, C. S.; LEONARDI, G. y WILSON, A. G. (1990): *Urban Dynamics. Designing an Integrated Model*; Routledge; London.
- CHATTERJI y KUENNE, Robert E. (1990): *New frontiers in regional science*; New York University Press; New York.
- CHORLEY, Richard J. y HAGGETT, P., eds. (1968): *Socio-economic models in geography*; London, Methuen.
- CLARKE, Martin y WILSON, Alan (1989): «Mathematical Models in Human Geography: 20 Years On»; en PEET, R. y THRIFT, N., eds.; *New models in Geography*; Unwin Hyman; London.
- DE LA BARRA, Tomas (1989): *Integrated Land Use and Transport Modelling. Decisions Chains and Hierarchies*; Cambridge University Press, Cambridge.
- ENACHE, Mircea: «GIS-Ready Decision Support System», en URISA (Urban & Regional Information Systems Association); *1994 Annual Conference Proceedings*; Milwaukee, MI, USA.
- FEDRA, Kurt y REITSMA, Rene F.: «Decision support and geographical information systems», en SCHOLTEN, Henry J. y STILLWELL, John C.H., eds.; 1990; *Geographical information systems for urban and regional planning*; Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, Boston.
- FISCHER, M. M. y NIJKAMP, P.: «Design and use of geographic information systems and spatial models», en FISCHER, M. M. y NIJKAMP, P.; 1993; *Geographic information systems, spatial modelling, and policy evaluation*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York.
- GEERTMAN, Stan C. M. y RITSEMA VAN ECK, Jan R. (1995): «GIS and models of accessibility potential: an application in planning»; *International Journal of Geographical Information Systems*; vol. 9, n.º 1; pp. 67-80.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, Javier; 1994; «Aplicación de Arc/Info en la Planificación del Transporte: El Análisis de Accesibilidad en el Plan Director de Infraestructuras»; en GOULD, Michael, ed.; 1994; *El Uso de los Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones con Arc/Info*; ESRI-España; Madrid.

- HARRIS, Briton (1989): «Beyond Geographic Information Systems: Computers and the Planning Professional»; *Journal of the American Planning Association*, 55: 85-90.
- y BATTY, Michael (1992): «Locational Models, Geographic Information Systems, and Planning Support Systems»; National Center for Geographic Information and Analysis, Technical Report 92-1.
- HARRIS, Trevor M. y ELMES, Gregory A. (1993): «The Application of GIS in urban and regional planning: a review of the North American experience»; *Applied Geography*, 13: 9-27.
- HEIKKILA, Eric J.; MOORE, James E. y KIM, Tschangho John (1990): «Future Directions for EGIS: Applications to Land Use and Transportation Planning»; en KIM, T. J., WIGGINS, L. L. y WRIGHT, J. R., eds.; *Expert Systems: Applications to Urban Planning*; Springer-Verlag, New York (USA).
- HUTCHINSON, B. y BATTY, M., eds. (1986): *Advances in urban systems modelling*; Elsevier Science Pub. Co.; Amsterdam y New York.
- HUXHOLD, W. (1991): *An Introduction to Urban Geographical Information Systems*; Oxford University Press; New York.
- ISARD, Walter, ed. (1982): *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*; Cornell University, Ithaca, New York.
- KIM, Tschangho John, HYUN RHO Jon and SUH, Sunduck (1989): *Integrated Urban Systems Modeling: Theory and Applications*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht., Holanda.
- LANDIS, J. D. (1995): «The California Urban Futures Model: a new generation of metropolitan simulation models»; *Environmental and Planning B: Planning and Design*, 21: 399-420.
- LANGRAN, Gail (1992): *Time in geographic information systems*; Taylor and Francis; London, New York.
- MACMILLAN, W. D. (1989): *Remodelling geography*; Blackwell; Oxford, OX, UK y Cambridge, MA, USA.
- OPENSHAW, S. (1994): «Two exploratory space-time-attribute pattern analysers relevant to GIS»; en FOTHERINGHAM, Stewart y ROGERSON, Peter, eds.; 1994; *Spatial Analysis and GIS*; Taylor and Francis, colección General Issues in Geographic Information Systems; London y Bristol (PA, USA).
- PEUQUET, Donna J. (1994): «It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in geographic Information Systems»; en *Annals of the Association of the American Geographers*, número 84 (3): 441-461; Cambridge (MA, USA).
- SCHOLTEN, Henry J. y STILLWELL, John C. H., eds. (1990): *Geographical information systems for urban and regional planning*; Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, Boston.
- SUI, Daniel Z. (1994): «Fuzzy logic can help GIS cope with reality»; *GIS World*, 7, 9: 50-53.
- THOMAS, R. W. y HUGGET, R. J. (1980): *Modelling in geography: a mathematical approach*; Barnes & Noble Books; Totowa, N.J., USA.
- WEBSTER, C. J. (1993): «GIS and the scientific inputs to urban planning. Part 1: Description», y «GIS and the scientific inputs to urban planning. Part 1: Prediction and Prescription»; *Environment and Planning B: Planning and Design*; vol. 20 y 21.
- WEGENER, Michael, GNAD, Frederick y VANNAHME, Michael (1986): «The time scale of urban change»; en HUTCHINSON, B. y BATTY, M., eds., 1986; *Advances in urban systems modelling*; Elsevier Science Pub. Co.; Amsterdam y New York.
- WILSON, A. G. y KIRKBY, M. J. (1980): *Mathematics for geographers and planners*; Oxford University Press y Clarendon Press; New York.

BIBLIOGRAFÍA MÁS RECIENTE Y RECURSOS ELECTRÓNICOS SOBRE ANÁLISIS ESPACIAL, MODELOS URBANOS Y SIG

- BAILEY, Trevor C. y GATRELL, Anthony C. (1995): *Interactive Spatial Data Analysis*; Longman Scientific & Technical; Essex, UK.
- BIRKIN, Mark; CLARKE, Graham; CLARKE, Martin y WILSON, Alan: *Intelligent GIS: Location Decisions and Strategic Planning*; Geoinformation International, Cambridge, UK.
- LONGLEY, Paul y BATTY, Michael (1996): *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*; Geoinformation International, Cambridge, UK.
- LONGLEY, Paul y CLARKE, Graham (1995): *GIS for Business and Service Planning*; Geoinformation International, Cambridge, UK.
- MARTIN, David (1996): *Geographic Information Systems and their Socioeconomic Applications*; Routledge; London and New York.
- UNWIN, David, J. (1996): «GIS, spatial analysis and spatial statistics»; *Progress in Human Geography*, 20,4, pp. 54-551.
- VVAA (1995): *GIS for Business: Discovering the Missing Piece in your Business Strategy*; Geoinformation International, Cambridge, UK.

Recursos electrónicos

- S+SPATIALSTATS
<http://www.mathsoft.com/splsprod/spatldes.html>
- S+ para Arc/Info
<http://www.mathsoft.com/splsprod/arcdes.html>
- Productos ESRI (Arc/Info, Arcview, etc.)
<http://www.esri.com>
- Productos Intergraph (MGE entre otros)
<http://www.intergraph.com>
- Spacestat
<http://www.rri.wvu.edu/spacestat.htm>
- INFORMAP
 e-mail del Dr. Gatrell: agatrell@lancaster.ac.uk
- Recursos on-line para análisis espacial y SIG
<http://rigel.csuchico.edu/ores.html#GEOINF>