

# NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL EN FUNCIÓN DEL TRANSPORTE

*Cándida Gago García y M<sup>a</sup> Milagros Serrano Cambroner<sup>1</sup>*

Universidad Complutense de Madrid

## RESUMEN

En estas líneas se señala la necesidad que sigue teniendo la Ciencia Geográfica de continuar planteando modelos para la explicación y síntesis de la organización espacial. Estos modelos pueden desarrollarse, hoy en día, con mayor rapidez y precisión gracias a nuevas tecnologías de información (Sistemas de Información Geográfica), programas de tratamiento estadístico y fuentes de información territorial (imágenes de satélite, cartografía digital, base de datos digitales, entre otras).

Para argumentar estas ideas se valora la importancia explicativa que han tenido algunos modelos, fundamentalmente aquellos ligados a la Geografía de los transportes; luego se propone un estudio de caso a partir del cual se ha desarrollado un modelo de crecimiento de la Comunidad de Madrid en relación con sus carreteras radiales mediante el empleo de SIG, imágenes de satélite y otras aplicaciones informáticas.

**Palabras clave:** Modelos, organización territorial, teledetección, SIG, sistemas de transporte.

## ABSTRACT

The Geography needs nowadays new models to explain and to synthesize the new spatial organisation. Actually, these models can be developed with increasing speed and acute due to the new technologies of information (GIS), statistics programs and remote sensing.

This essay analyse the importance of some models, especially traditional transport models, and its role in the geographical knowledge of the spatial organisation. Models can be improved by new technologies as it has been shown in the case of study. The essay depicts a model of the urban expansion in the main radial highways of Madrid city, which has been done using GIS, remote images and other computer programs.

**Key words:** Models, Space organisation, Remote sensing, GIS, transport systems.

Fecha de recepción: 2 de septiembre de 2002. Fecha de aceptación: 5 de diciembre de 2002.

<sup>1</sup> Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 MADRID (España). E-mail: candigago@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN: CONCEPTO DE MODELO

Este artículo pretende, más que demostrar la validez de los modelos para la explicación de realidades espaciales, algo ya sobradamente conocido y demostrado, dar a conocer nuevas experiencias que permiten realizar y modelizar con mayor precisión, gracias a las nuevas posibilidades que proporciona el avance de las fuentes y técnicas de investigación en Geografía.

Los seres humanos han utilizado modelos en el transcurso de la historia y así, los modelos pueden considerarse una de las herramientas más antiguas de la humanidad (Sotelo, J. A., 1999). Una imagen mental, los primeros mapas o una simple fotografía ya suponen una forma de modelo. La elaboración de modelos en Geografía, al igual que en el resto de las ciencias sociales, es un hecho relativamente reciente; aunque se cuente con antecedentes muy significativos anteriores a los años sesenta, puede decirse que su desarrollo fundamental se produce después de esta década, donde esta práctica convive con otras corrientes en Geografía que señalan a los modelos como una abstracción tan generalizable que no permite comprender la realidad en toda su complejidad y magnitud. En cualquier caso, no puede dudarse del valor sintético, explicativo, incluso, pedagógico que tienen algunas modelizaciones elaboradas dentro de la Ciencia Geográfica.

El concepto de modelo tiene una definición difícil de concretar. La interpretación adoptada por R. J. Chorley y P. Haggett (1971), y que deriva de la de Skilling (1964) está llena de ambigüedades. Para este autor *«un modelo puede ser una teoría, o una ley, o una hipótesis o una idea estructurada. Puede ser una función, una relación o una ecuación. Puede ser, también, una síntesis de datos. Lo más importante bajo el punto de vista de la Geografía es que estén o bien desarrollados en el espacio (modelos espaciales), o bien, desarrollados en el tiempo (modelos temporales), su aplicación puede extenderse al razonamiento sobre el mundo real»* (Chorley, R. J. y Haggett, P., 1971, p. 11).

Otros autores como Brodbeck (1959), Braihwaite (1960) y Nagel (1961) depuran más el término opinando que *«los modelos deben considerarse diferentes de las teorías (...) un modelo es la expresión formalizada de una teoría cuya función fundamental es proporcionar una interpretación de dicha teoría»* (en Harvey, D., 1983, pp. 160-161). En cualquier caso, se puede definir un modelo como una simplificación voluntaria y objetiva de la realidad, cuya utilidad es demostrar algunas de sus propiedades, aunque no transmita toda la verdad.

El origen de un modelo apriorístico reside en la necesidad de idealización. La reacción del ser humano ante la complejidad del mundo que le rodea ha sido construirse una visión simplificada e inteligible del mundo, para proveerse de una visión general de las características esenciales de esa realidad. Esta visión posee unas características determinadas:

- *Escala.* A una determinada escala se concretan una serie de detalles que definen el modelo, cuya definición se perdería entre la generalidad de una escala superior y la complejidad de una escala de detalle.
- *Abstracción.* Un modelo científico es una abstracción simplificada de la realidad que realiza sólo los aspectos fundamentales de la misma.

- *Selección*. Esta característica, ligada a la anterior, muestra los elementos esenciales de una determinada faceta de la realidad, eliminando el ruido y las señales menos importantes; de esta manera, los modelos pueden considerarse como aproximaciones selectivas que, a través de la supresión del detalle incidental, permiten la aparición en forma generalizada de los aspectos fundamentales, necesarios o interesantes, del mundo real (Chorley, R. J. y Haggett, P., 1971, p. 12).
- *Estructura*. La estructura de los modelos refleja las interconexiones de la realidad, constituyéndose como una fuente de análisis e interpretación fundamental de la misma. De la interpretación de la estructura se deriva que el conjunto del modelo tiene un mayor número de implicaciones que el que podría deducirse del estudio de sus componentes individuales.
- *Sugestión*. Esta faceta de los modelos está directamente relacionada con la capacidad de inspiración y desarrollo de la persona que lo observa y estudia. De un buen modelo deben desprenderse sugerencias para su propia extensión y generalización.
- *Especulación*. De los modelos pueden derivarse predicciones sobre el mundo real; en numerosas ocasiones, los modelos son instrumentos de especulación.
- *Experimentación*. Esta última característica aparece ligada a la propia definición de modelo en la vía de explicación hipotético-deductiva. Un modelo debe ser susceptible de experimentación y demostración.

Los modelos se adaptan al tipo de explicación científica elegida. De esta forma, podremos encontrar modelos a posteriori, elaborados para la explicación de una determinada experiencia, y modelos a priori, surgidos de una argumentación analítica abstracta o bien como respuesta a un conjunto de problemas empíricos.

En cuanto al tipo o variedades de modelos que pueden encontrarse R. L. Ackoff (1962, en Harvey, D., 1983, p. 169) diferencia tres tipos: icónicos, que utilizan los mismos datos pero implican cambios de escala, por ejemplo una maqueta, análogos, que suponen un cambio en el material utilizado para construir el modelo, y simbólicos, que representan la realidad mediante un sistema simbólico como puede ser un sistema de ecuaciones matemáticas (figura 1).

R. J. Chorley considera todos los modelos como análogos pero propone una clasificación de los modelos en dos, unos traducen circunstancias naturales análogas; otros son los modelos matemáticos, que coinciden con los modelos simbólicos de Ackoff.

Cada rama científica considera estos tipos de modelos adecuándolos a sus necesidades; por ejemplo, la Historia se decanta por los análogos, las ingenierías, al igual que la Economía, por los matemáticos.

También la Geografía se ha decantado por la utilización de una serie de modelos, muchos de los cuales se basan en formulaciones matemáticas y/o en abstracciones gráficas, en las que se pone en relación el espacio con una determinada variable que explica la organización espacial.

Según R. J. Johnston et al. (2000) los conceptos sobre los modelos han variado desde las primeras publicaciones de Chorley y Haggett y, actualmente, han vuelto a ser interpretados en tres niveles:

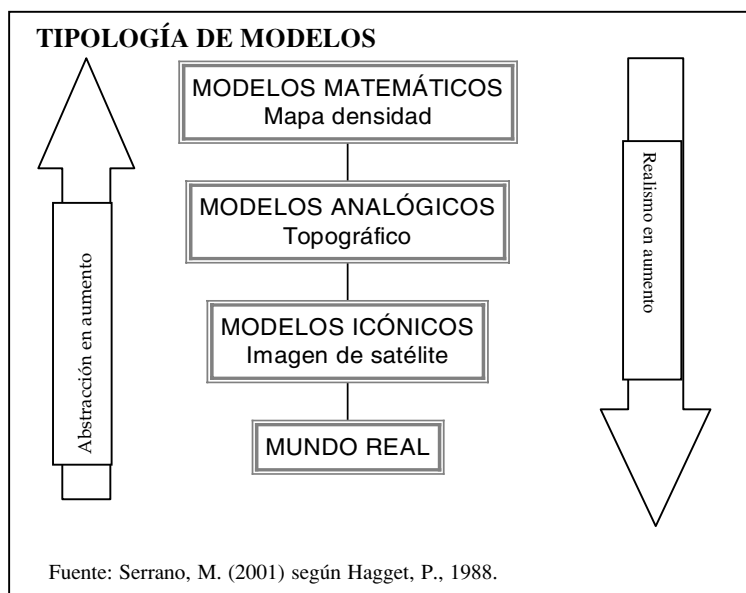


FIGURA 1

1. Los modelos han sido objeto de una limitada reformulación y realmente ha habido pocos intentos de construir modelos locacionales nuevos, aunque sí se han modificado algunos ya existentes.
2. El objetivo general de construir modelos analíticos como base de la investigación geográfica fue abandonado y los esfuerzos se dirigieron hacia los métodos como medios y no como fines en sí mismos. Estos esfuerzos se mezclaron, en un principio, con la crítica del positivismo lógico pero desde entonces se ha vuelto a establecer el uso de métodos analíticos en un entorno intelectual más amplio y más sensible a las limitaciones de estos métodos.
3. Estas formulaciones han tenido cierto impacto en la modelización tradicional y en una conferencia celebrada para conmemorar los 20 años del libro «Models in Geography» se produjeron opiniones bastante contrapuestas. Entre estas opiniones destacan tres: la primera es la de Harvey quien sugirió que «*los que han sido fieles a la modelización desde aquellos tiempos tan apasionantes han podido hacerlo restringiendo la naturaleza de las preguntas que se hacían*»; en segundo lugar Cosgrove señaló «*que la modelización es la expresión por excelencia de la modernidad y que es incapaz de responder a los retos de la postmodernidad.*»; por último, también había en la citada conferencia científicos que no estaban arrepentidos, que seguían creyendo en la modelización y que actualmente se encontraban estimulados en nuevos planteamientos debido a la gran expansión de los Sistemas de Información Geográfica (Johnston, R. J., et al., 2000, p. 371).

Las opiniones expuestas en esta conferencia son bastante contradictorias pero creemos, al igual que la última opinión expresada, que la construcción de modelos espaciales se está viendo favorecida y puede sufrir una nueva etapa de expansión debido a las posibilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica, la Teledetección y la Cartografía Digital.

## MODELOS EN LA GEOGRAFÍA DE LOS TRANSPORTES

Muchos de los modelos desarrollados dentro de la Geografía abordan y sintetizan las relaciones existentes entre transporte, localización y procesos espaciales. El estudio del sistema de transporte como una manifestación de la organización del espacio tiene una larga tradición; en este tipo de enfoque confluyen los intereses de muchas de las ramas sistemáticas de la Geografía, tales como la Geografía Económica, la Geografía Política y la Geografía de los Transportes. Sus resultados y análisis han sido, a su vez, utilizados e interpretados de forma que los principios que rigen la organización económica, política, social, cultural, etc... del espacio se traducen en la organización de los transportes, base de cualquier organización territorial.

Una de las interpretaciones que más enfatiza las relaciones entre situación o ubicación, organización espacial y transporte es la teoría de la localización; ésta posee una serie de elementos que ayudan a comprender de forma sencilla la problemática espacial del transporte, así, esta teoría, con un enfoque fundamentalmente económico basado en el binomio distancia-coste de transporte, intenta explicar las diferentes localizaciones que se producen en el espacio.

Pueden distinguirse varias interpretaciones de la teoría de la localización; unas analizan las localizaciones concretas de productos, servicios, industrias, etc..., en función de la maximización de beneficios y la minimización de costes de producción, entre los que se encuentran los costes de transporte. Otro tipo de modelos intentan explicar la organización de áreas de influencia en torno a un núcleo central en función del análisis de los desplazamientos que hacen los individuos para adquirir determinados bienes o servicios más o menos centrales.

Dentro del primer grupo de planteamientos se encuentran las teorías, clásicas, de localización agraria de L. Von Thünen o las teorías de localización empresarial de M. Weber. Las modernas teorías de localización se interesan mucho más por las cuestiones de comunicación, de intercambios y enlaces y de rapidez y facilidad con la que se produce el transporte. Puede decirse, sin embargo, que aunque las teorías clásicas tengan que ser revisadas convenientemente, todas ellas tienen la virtud de reconocer la importancia del factor transporte en la localización.

El factor distancia tiene, también, una importancia significativa en aquellos aspectos relativos a la obtención de un bien central. A este respecto, las teorías de la localización han desarrollado modelos que intentan explicar la organización de áreas de influencia en torno a un núcleo central en función del análisis de los desplazamientos de los individuos para la adquisición de un determinado bien o servicio central, tal como se muestra en las figuras 2 a 5.

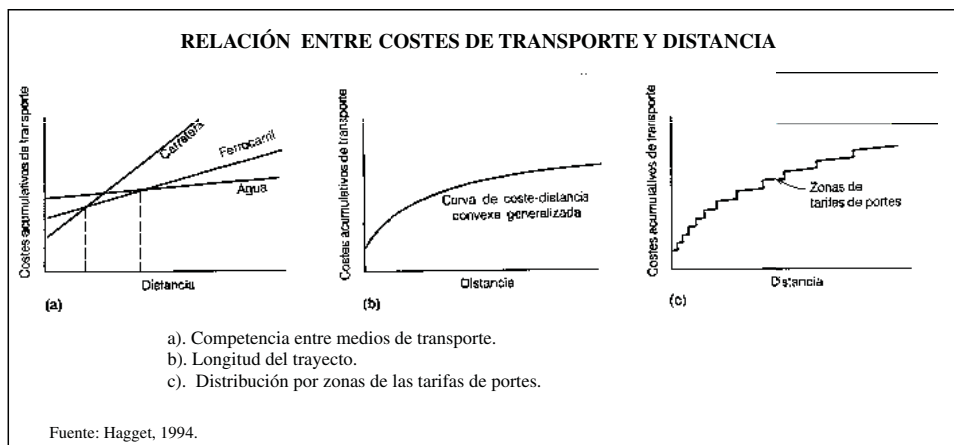


FIGURA 2

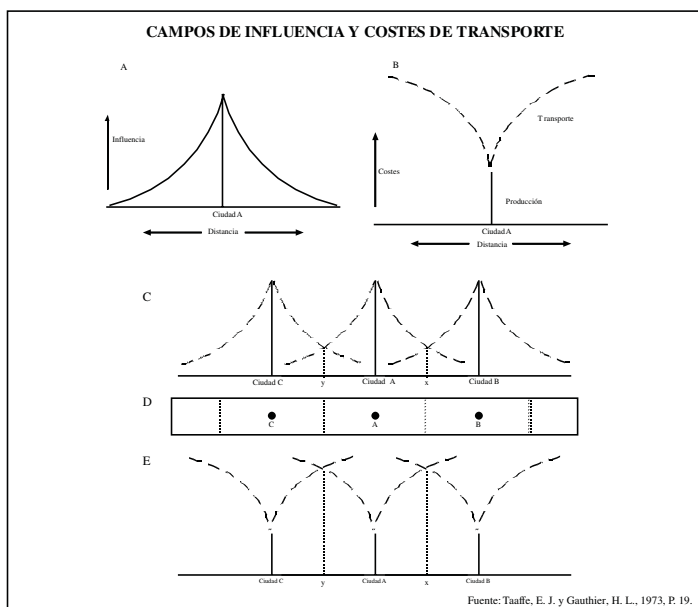


FIGURA 3

La representación A muestra un campo de influencia desde una ciudad, A, donde la influencia de ésta declina con la distancia en todas las direcciones alrededor de la ciudad.

La representación B es una ilustración de cómo los costes de transporte se incrementan alrededor de la ciudad A con la distancia.

La figura C representa las divisiones espaciales entre ciudades de igual influencia y con similar declive de la misma según se incrementa la distancia. Las divisiones son equidistantes entre los diferentes centros urbanos.

La figura D es una sección de un mapa hipotético de los hinterland asociados al modelo de influencia que marca la figura C. La figura E representa el caso análogo para el factor «costes de transporte»: iguales costes de producción en las diferentes ciudades e iguales costes de transporte desde cada una de las mismas.

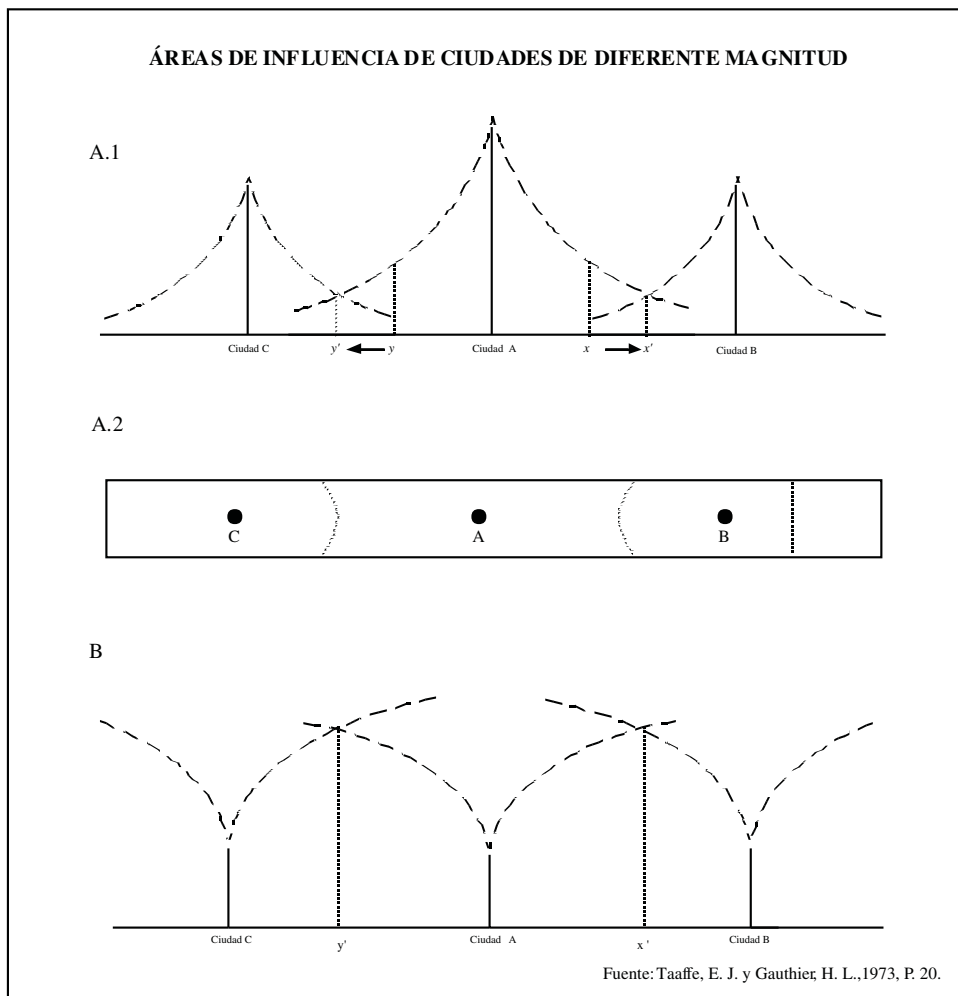


FIGURA 4

La figura A.1 representa los efectos de la diferente magnitud de las ciudades. Si la ciudad A es mayor y oferta unos servicios centrales más especializados que B y C, las áreas de influencia se reducirán en las ciudades más pequeñas, desde  $x$  a  $x'$  o desde  $y$  a  $y'$ . La figura A.2 muestra los efectos de la diferente magnitud de las ciudades en un mapa de hinterland.

La figura B se refiere al caso análogo para los costes de transporte.

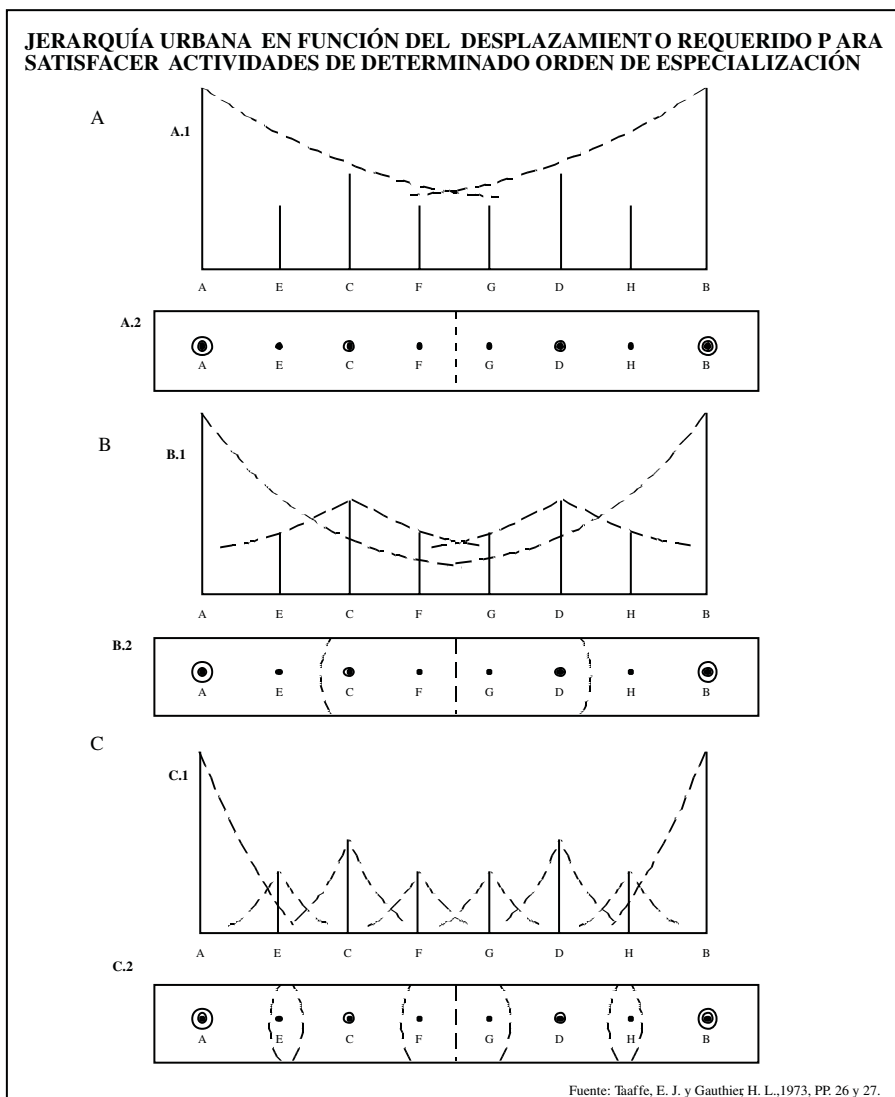


FIGURA 5

A. Diagrama jerárquico: actividades de alto orden de especialización. El diagrama superior muestra la curva de influencia asociada a funciones de alto orden de especialización o importancia; estas funciones sólo aparecen en las ciudades A y B. El diagrama inferior representa la estructura espacial resultante. Las ciudades E, C y F pertenecen al área de influencia de la ciudad A, y las ciudades G, D y H al de B.

B. Diagrama jerárquico: actividades de orden medio de especialización. Los diagramas representan el grado de influencia y la estructura espacial asociada a actividades de orden medio de especialización. Estas actividades se sitúan en las ciudades C, D y también en A y B.

C. Diagrama jerárquico: actividades de bajo orden de especialización. Los diagramas representan el grado de influencia y la estructura espacial asociada a actividades de bajo orden de especialización que se localizan en todos los centros urbanos representados.



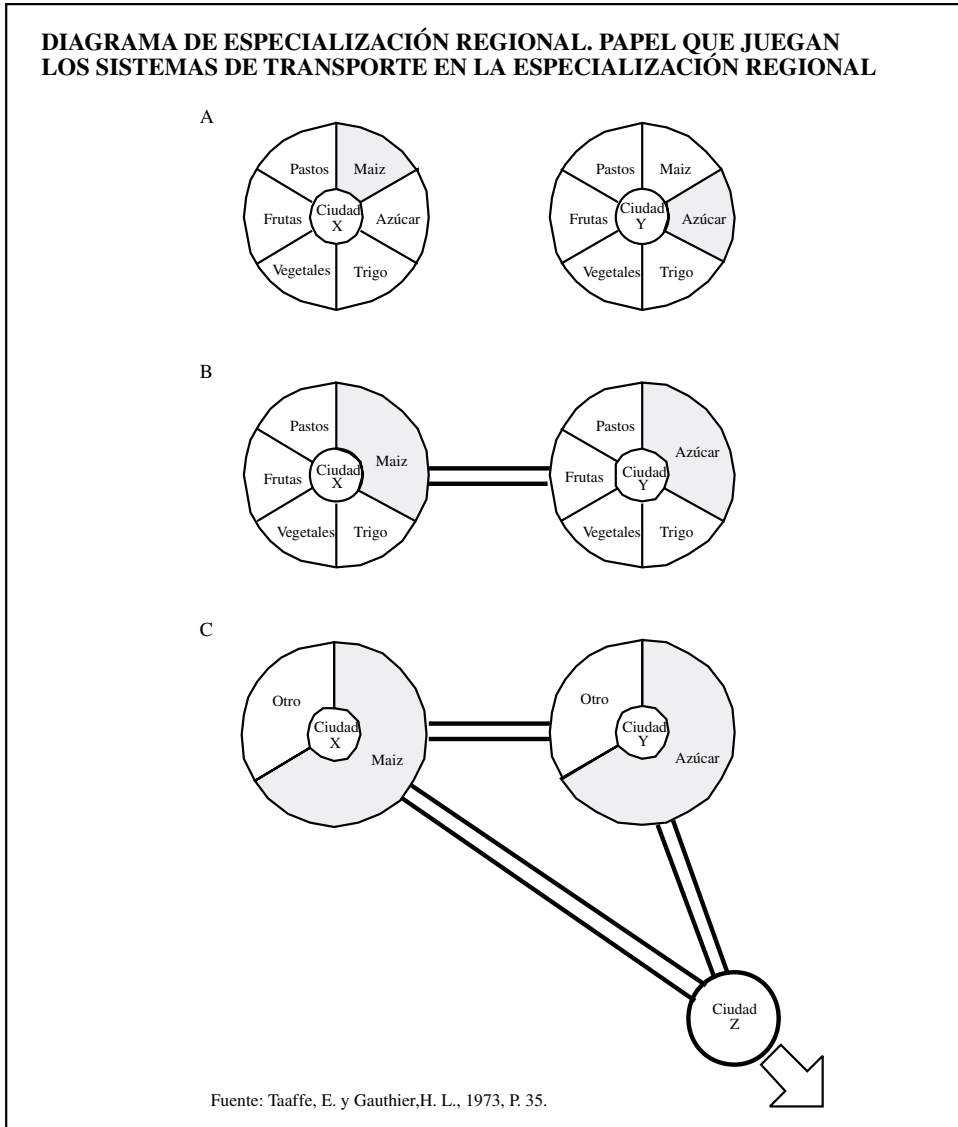


FIGURA 6

Este diagrama describe el crecimiento de la especialización entre dos regiones a la vez que se mejoran las conexiones en el sistema de transportes. En las regiones de economía agrícola siempre hay una producción diversificada, para asegurar un abastecimiento suficiente de todos los productos (A). Cuando las ciudades se comunican por sistemas de transporte efectivos las ciudades empiezan a especializarse (B). El sistema de transporte puede expandirse para incluir mercados nacionales y mundiales, con lo que el proceso de especialización se intensifica.

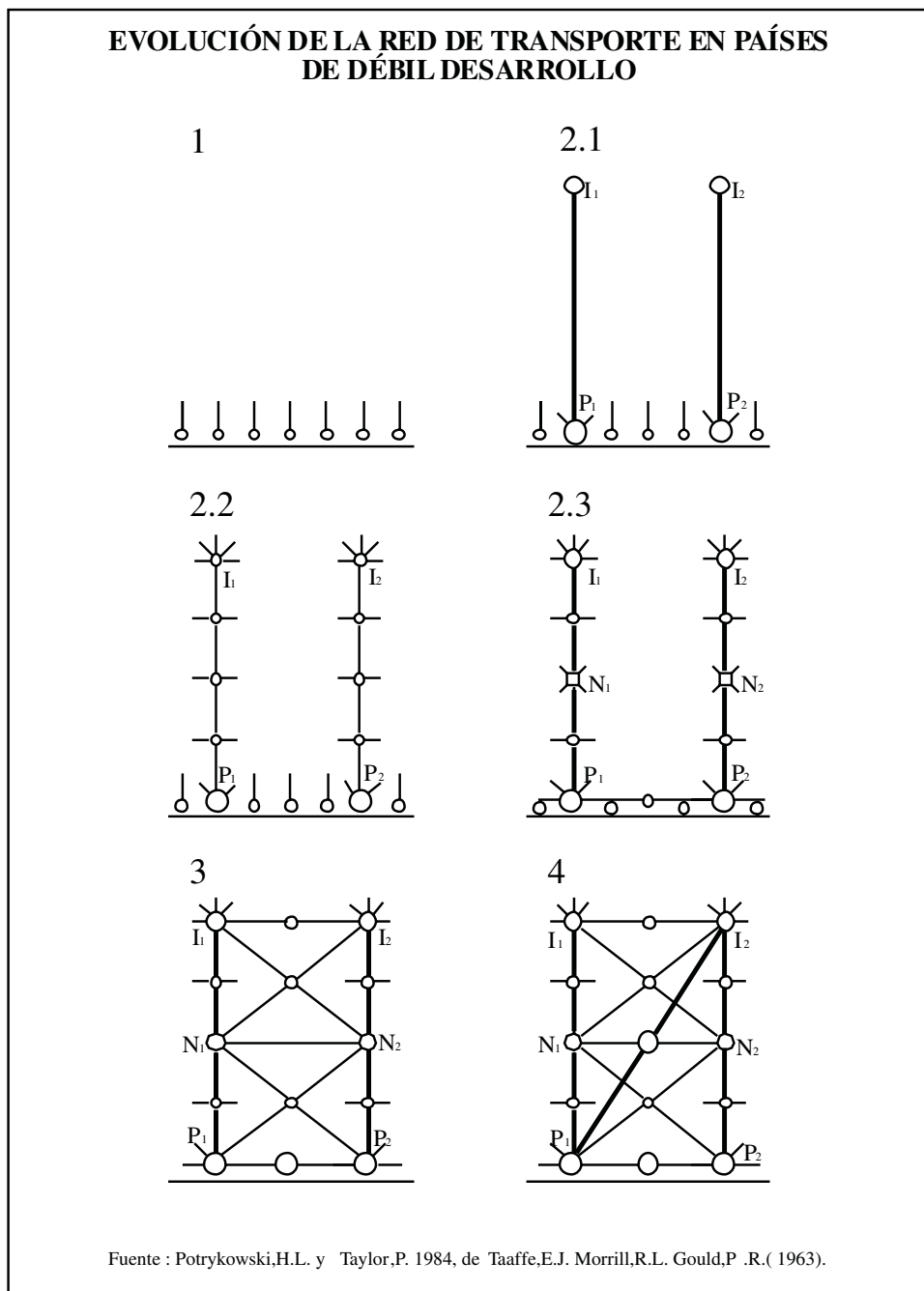


FIGURA 7

E. Taaffe, R. L. Morrill y P. R. Gould, autores de este modelo, basándose en estudios empíricos de distintos países de escaso desarrollo, africanos en su mayoría, formularon un modelo generalizado de evolución del sistema de transporte; este modelo está basado en las repercusiones espaciales que ha tenido la colonización de las metrópolis europeas y la manera en que se ha ido penetrando y controlando el territorio desde la costa, lugar donde se producen los primeros asentamientos. El modelo presenta cuatro fases.

En la primera fase se localizan a lo largo de un litoral marítimo varios pequeños puertos y poblaciones comerciales. Cada uno de estos núcleos tiene un área de influencia reducida, siendo las conexiones entre las poblaciones débiles y esporádicas. La comunicación entre los núcleos se realiza por la costa mediante pequeñas embarcaciones.

La segunda fase, conocida como fase de penetración, resulta de vital importancia en el desarrollo de una red de transportes, puesto que en ella aparecen las primeras líneas de comunicación que unen determinados puntos del interior del país con algunas ciudades costeras; este proceso configura, consiguientemente, los primeros «precedentes históricos» que influirán en el posterior desarrollo de la red. Al mismo tiempo, algunos de los núcleos costeros crecen y se desarrollan con lo que su área de influencia se expande.

M. Potrykowski y Z. Taylor (1984, pág. 102) señalan tres causas fundamentales que condicionan la aparición de las primeras líneas de comunicación entre el interior del país y la costa: la tendencia a ejercer el control político y militar sobre el área, la tendencia a explotar y exportar las riquezas naturales y los productos autóctonos y, por último, acceder a los mercados locales para la venta de productos procedentes de la metrópoli. La primera de las causas requiere la intervención de un poder político y la financiación de las obras por parte de éste. Las dos últimas motivaciones poseen un tinte económico y parecen estar más ligadas a los procesos coloniales a los que se vieron sometidos los países de África, América Latina y otros muchos asiáticos. Aunque en algunos casos, las compañías privadas financiaron las infraestructuras viarias, poder político y explotación económica han estado históricamente unidos, por lo que puede decirse que ha existido una confluencia de intereses en las motivaciones de penetración hacia el interior de estos territorios.

En la tercera fase de evolución ya se van desarrollando poblaciones a lo largo de las líneas de comunicación que se establecieron en la fase anterior. Aparecen tanto las líneas laterales como las primeras comunicaciones terrestres entre los puertos más grandes y las ciudades del interior del país. La concentración de la actividad económica en los grandes puertos conduce a una mayor rapidez de su desarrollo, aumentando, incluso, sus periferias a costa de ciudades más pequeñas. Mientras tanto, los puertos pequeños evolucionan más lentamente, llegando a decaer o desaparecer.

En las últimas fases algunas líneas laterales empiezan a unirse, apareciendo nuevos nodos en su trazado. Se aprecia una incipiente tendencia hacia la especialización y el crecimiento de los mercados de las ciudades, entre las que empieza a existir competencia. Por último, entre las localidades más grandes se desarrollan conexiones prioritarias que son vías de calidad superior y de flujos más intensos.

El interés de este conjunto de modelos continúa totalmente vigente, e incluso se ha incrementado en virtud del desarrollo social actual; estamos presenciando una generalización de la utilización del sistema de transporte para la satisfacción de las necesidades de asistencia, consumo y ocio. Parte de esta dinámica está basada en la generalización de la sociedad de consumo, a la que también han contribuido los avances tecnológicos, mejorando la calidad y eficiencia de los medios de transporte y comunicación, lo que demuestra, nuevamente, la dialéctica que existe entre el medio socioeconómico y el sistema de transporte y comunicaciones.

Debe decirse, que este modelo en concreto constituye, al fin y al cabo, una moderna interpretación de la teoría de los lugares centrales, donde los sistemas de transporte juegan un papel fundamental en la organización espacial; así las jerarquías de ciudades, definidas mediante el tipo de actividades que contienen, están relacionadas con los sistemas de transporte; la jerarquía urbana no sólo se define por albergar una actividad o servicio central, sino porque la interrelación entre actividad y servicio de transporte permite la viabilidad y continuidad de la misma en el tiempo.

Siguiendo el hilo argumental de nuestra exposición, conviene revisar otros dos conjuntos de teorías tendentes, igualmente, a mostrar cómo el sistema de transporte es un vertebrador importante de la organización espacial. Estos enfoques poseen en común el análisis de los posibles impactos que la implantación de un sistema de transporte provoca en un determinado territorio y pueden resumirse en dos grupos: aquellos referentes a la especialización territorial y los modelos de evolución del sistema de transporte.

Uno de los impactos más significativos que puede producir la implantación de un determinado sistema de transporte sobre un territorio es la especialización de la economía local, tal como se muestra en la figura 6; las economías aisladas, con pocas salidas exteriores poseen una diversificación de producciones destinadas al autoconsumo local, estando éstas subordinadas a las necesidades de consumo de unidades concretas de abastecimiento. Este tipo de práctica económica imposibilita la utilización diferencial de las condiciones naturales y las características específicas de cada uno de los territorios para producir determinados bienes o servicios. Las posibilidades de especialización, aprovechando las condiciones específicas de producción de las zonas se incrementan, sin embargo, con el establecimiento de un sistema de transporte eficaz, puesto que éste permite el intercambio de productos.

El otro aspecto que facilita la comprensión de las relaciones que existen entre transporte y espacio es el análisis de la evolución de los sistemas de transporte. Este tipo de enfoque intenta demostrar cómo el desarrollo de cualquier sistema de transporte está necesariamente enlazado con el proceso de crecimiento económico y de desarrollo regional. Se trata de un tipo de modelos donde, de nuevo, desarrollo económico, desarrollo regional y sistema de transporte aparecen íntimamente unidos; la frontera entre los factores es confusa, porque el sistema de transporte debe ser considerado como una parte más del proceso económico.

Los modelos más sencillos constituyen síntesis de la evolución de las redes de transporte en países subdesarrollados. Su sencillez radica en la posibilidad de analizar el establecimiento de un sistema de transporte en territorios naturales o seminaturales, donde

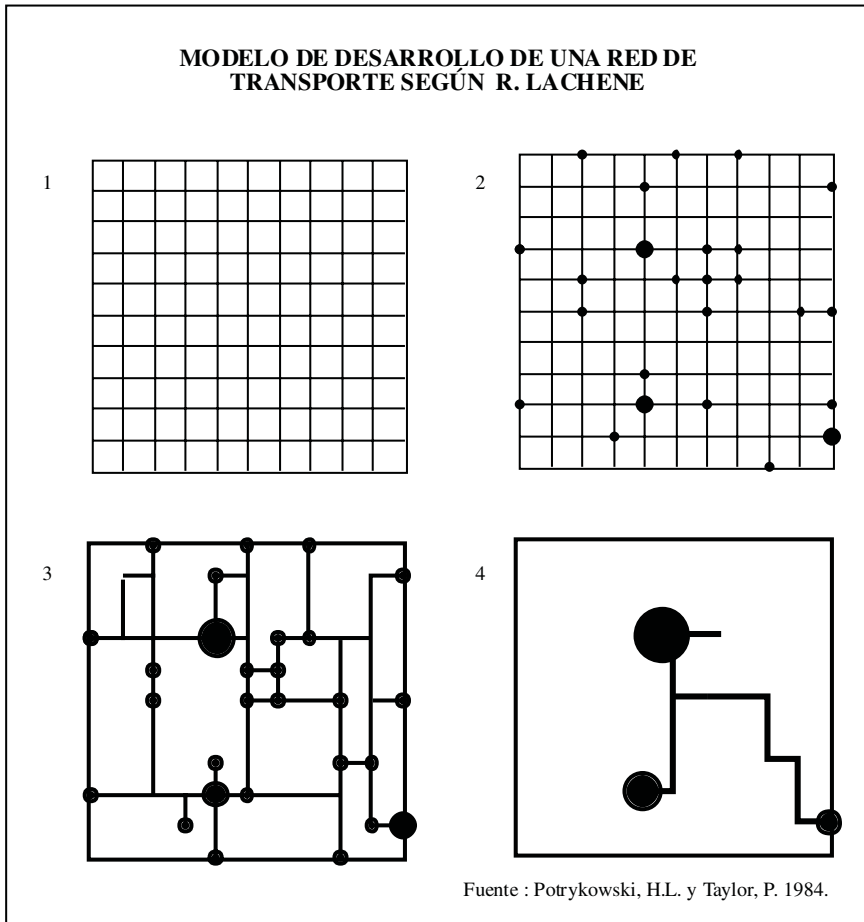


FIGURA 8

Este modelo no contempla un territorio costero como punto de partida para la colonización de un territorio, sino una localización interior que se caracteriza, en principio, por una actividad económica homogénea y una población diseminada. En la evolución del sistema de transporte pueden señalarse cuatro fases:

En un primer momento, sobre un área uniformemente desarrollada existe una red de carreteras de escasa categoría y de configuración en damero.

En la segunda fase, aparecen las ciudades en el cruce de algunos caminos.

En el siguiente momento, el desarrollo de las ciudades y el progreso técnico del transporte crean las condiciones necesarias para que aparezca un nuevo tipo de infraestructura, la red de ferrocarril por ejemplo, que aunque no comunica a todos los núcleos, posee una capacidad muy superior a la de la red hasta entonces existente.

En la cuarta fase, la formación de una red diferenciada consumada en la fase anterior, produce un aumento del potencial de todas las poblaciones y acelera su desarrollo, sobre todo, el de las más grandes. En las próximas fases la construcción de nuevas redes tenderá a primar las uniones entre estos núcleos.

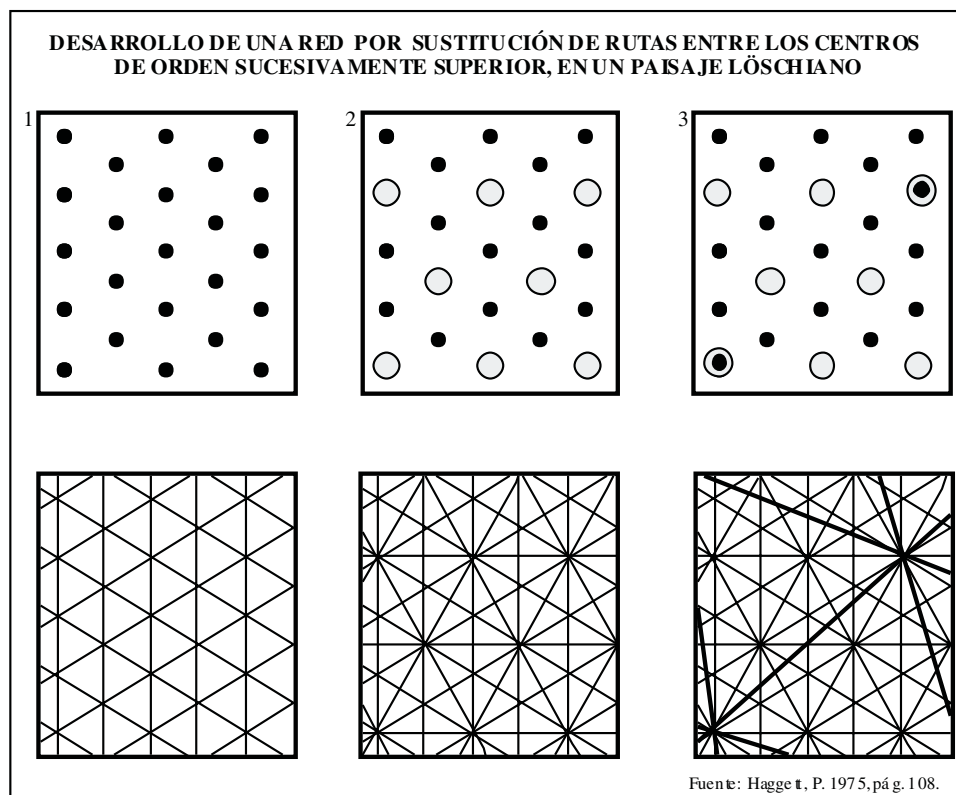


FIGURA 9

Los cambios en las necesidades de transporte motivados por un incremento de la especialización y de la cooperación hacen que aumente la distancia entre los puntos de origen y destino. La red existente, que presta sus servicios al tráfico de corto recorrido, representa, en este caso, un factor condicionante para la construcción de nuevas vías, tales como autopistas, autovías, tendidos de ferrocarril de alta velocidad, etc...

Los modelos de sustitución comienzan con un paisaje löschiano idealizado en el cual las líneas de comunicación conectan cada centro de población con el inmediato en una red de sendas que se entrecruzan.

En una segunda etapa, el nivel económico del área se ha elevado hasta producir una distancia de interacción más larga y reducir a la mitad el número de centros importantes, dejando de lado una serie de centros menores conectados por rutas secundarias.

En una tercera etapa, la interacción ha aumentado todavía más, con un nuevo conjunto de rutas óptimas. Se ha configurado un grupo nuevo y más reducido de centros importantes y otro más numeroso de centros que quedan marginados.

no es necesario tener en cuenta las «rugosidades históricas»; todos ellos pretenden explicar las formas en que un sistema de transporte es capaz de organizar inicialmente un espacio; dos de los modelos más conocidos para explicar la organización espacial en relación con el establecimiento de un sistema de transporte en territorios de nueva colonización son el de E. Taaffe, R. L. Morrill y P. R. Gould, de 1963 y el de R. Lachenne, de 1965 (figuras 7 y 8 respectivamente).

Dentro del conjunto de modelos de evolución de redes de transporte destacan, también, algunos centrados en el proceso de sustitución de rutas en áreas desarrolladas que, por tanto, poseen redes de transporte previamente establecidas. El análisis esencial que este tipo de modelizaciones realiza está basado en la manera en que las redes se ajustan a los cambios tecnológicos en el transporte, y a los círculos de interacción cada vez más amplios que acompañan a los niveles económico-sociales en ascenso, tal como se representa en la figura 9.

Los efectos que sobre el espacio produce la sustitución o ampliación de rutas son un ejemplo más de cómo el sistema de transporte es parte activa en la organización espacial: atracción de flujos sobre las ciudades primadas por la instalación de rutas de mayor capacidad, instalación de industrias atraídas por las buenas perspectivas de comunicación, nuevas especializaciones funcionales, cambios relativos a las funciones urbanas, reorganización de las áreas de influencia en función de las localizaciones primadas, etc...

Todos los modelos aquí presentados son fruto del intenso trabajo realizado por los geógrafos a fin de conocer y explicar la vertebración y organización territorial. Algunos de ellos han sido elaborados sobre la base de un trabajo de campo y una recogida de información laboriosos, otros son síntesis intuitivas propuestas a partir de la experiencia y el trabajo de muchos años.

La elaboración de modelos espaciales, que a nuestro juicio es una tarea necesaria—casi imprescindible— dentro de la Geografía, puede verse favorecida, tal como mostramos en el siguiente apartado, con las nuevas fuentes de información y recopilación de datos que proporciona el actual desarrollo tecnológico.

En cualquier caso, su finalidad será complementar y mejorar los modelos interpretativos aquí presentados y elaborar otros nuevos, para comprender la realidad espacial reciente; parte de ésta, de nuevo, puede ser explicada en función del establecimiento o presencia de una determinada infraestructura de transporte.

## **FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS DE TRANSPORTE**

El desarrollo y la construcción de modelos se ve favorecido actualmente por la existencia de numerosas fuentes de información y por el auge de técnicas destinadas a manipular y gestionar esta información. La disponibilidad de imágenes de satélite, Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica, constituyen, hoy en día, la base fundamental para la realización de estudios relacionados con el territorio, a partir de los cuales podrán postularse modelos que permitan explicar la articulación del espacio en sus diferentes variables.

La teledetección no es una técnica nueva; las fotografías aéreas se han utilizado desde mediados del siglo XIX para analizar el espacio y las primeras imágenes de satélite datan de la década de los cincuenta. Pero la utilización de imágenes de satélite para estudios de infraestructuras de transporte y, en general para estudios de espacios urbanos, se ha visto muy condicionada por la resolución espacial de las imágenes (10, 20, 30 metros); ésta resultaba insuficiente para realizar investigaciones a escala detallada.

Las características de las imágenes de satélite han evolucionado mucho en los últimos cinco o seis años destacando, entre otras, la mejora de la resolución espacial. Actualmente existen imágenes con más de 1m. de resolución espacial y muchos de los satélites que tienen previsto su lanzamiento próximamente tienen estas mismas características. Christian Bernard, director de estrategia de negocio de la empresa Spot Image, señala que *«se estima que para el 2006 el 65% del mercado global de observación de la tierra serán imágenes de igual o mayor resolución que 1m»*. (Gutiérrez del Olmo, J., y V. Moreno, 2000). Este factor supone un cambio importante en el rango de aplicaciones y amplía considerablemente las posibilidades de construcción e interpretación de modelos.

Las imágenes de satélite constituyen hoy día una herramienta clave en la modelización de espacios tan dinámicos como los espacios urbanos. Su utilización, presenta desde nuestro punto de vista, una ventaja importantísima, la actualización, la cual permite realizar análisis de cualquier espacio cada 15-20 días (dependiendo resolución temporal del satélite). A su vez, las características de las actuales imágenes, en cuanto a resolución espacial se refiere, permiten hacer análisis más específicos centrados en los cambios que se están produciendo en los espacios residenciales, comerciales, industriales, de ocio, etc.

Al igual que las imágenes de satélite, la Cartografía Digital y las bases de datos digitales han experimentado un gran desarrollo en los últimos años en relación con los avances en el campo de la informática; todo ello permite que los geógrafos incrementen las posibilidades de trabajo e investigación en todos los ámbitos.

## MODELO DE TRANSPORTE Y DESARROLLO URBANO

La metodología que presentamos para elaborar modelos está basada en la utilización de imágenes de satélite, Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica. El modelo planteado trata de explicar la importancia que tienen las carreteras en el desarrollo urbano utilizando como principal variable la distancia al centro de la ciudad, tal como ya abordaba el modelo desarrollado por Taaffe y Gauthier (figuras 3-5). La experimentación se aplica a las carreteras nacionales de carácter radial N II (carretera de Barcelona) y N III (carretera de Valencia) a su paso por la Comunidad de Madrid.

La elaboración del modelo está dividida en dos fases:

- 1<sup>a</sup> Determinar los cambios de usos del suelo producidos a uso del suelo urbano en torno a las carreteras en un periodo determinado (1987-1997).
- 2<sup>a</sup> Establecer la variabilidad de los cambios en función de la distancia al centro de la ciudad.



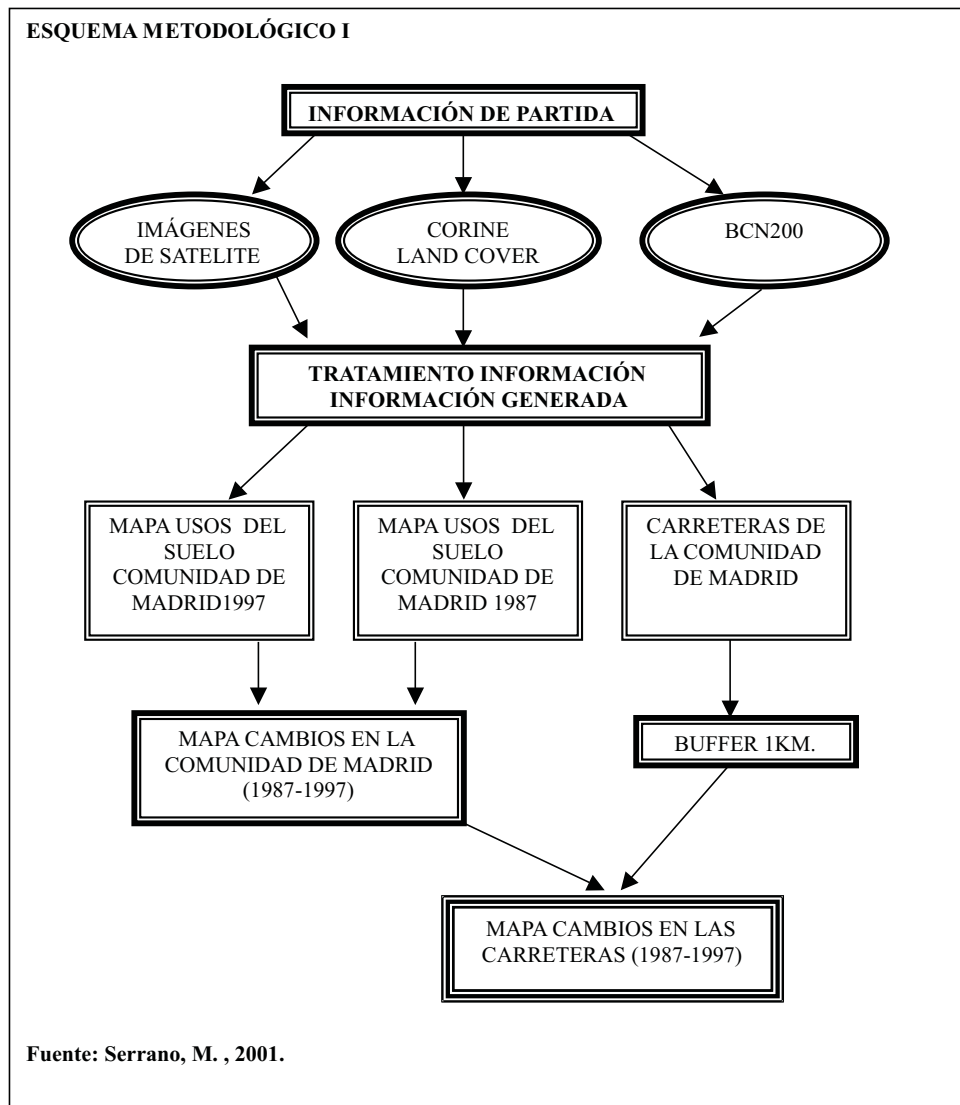


FIGURA 10

1ª Fase. La obtención del mapa de cambios en torno a las carreteras lleva implícita la utilización de dos mapas de usos del suelo de la Comunidad de Madrid correspondientes a los años 1987 y 1997. El mapa de usos de 1987 se ha compuesto a partir del *Mapa Corine Land Cover* y el mapa de usos de 1997 ha sido generado mediante la utilización de tres imágenes de satélite, una de *Landsat TM*, (30 m. resolución espacial), y dos de *IRS IC*, (5 m. resolución espacial). Además es necesario un mapa con las carreteras objeto de

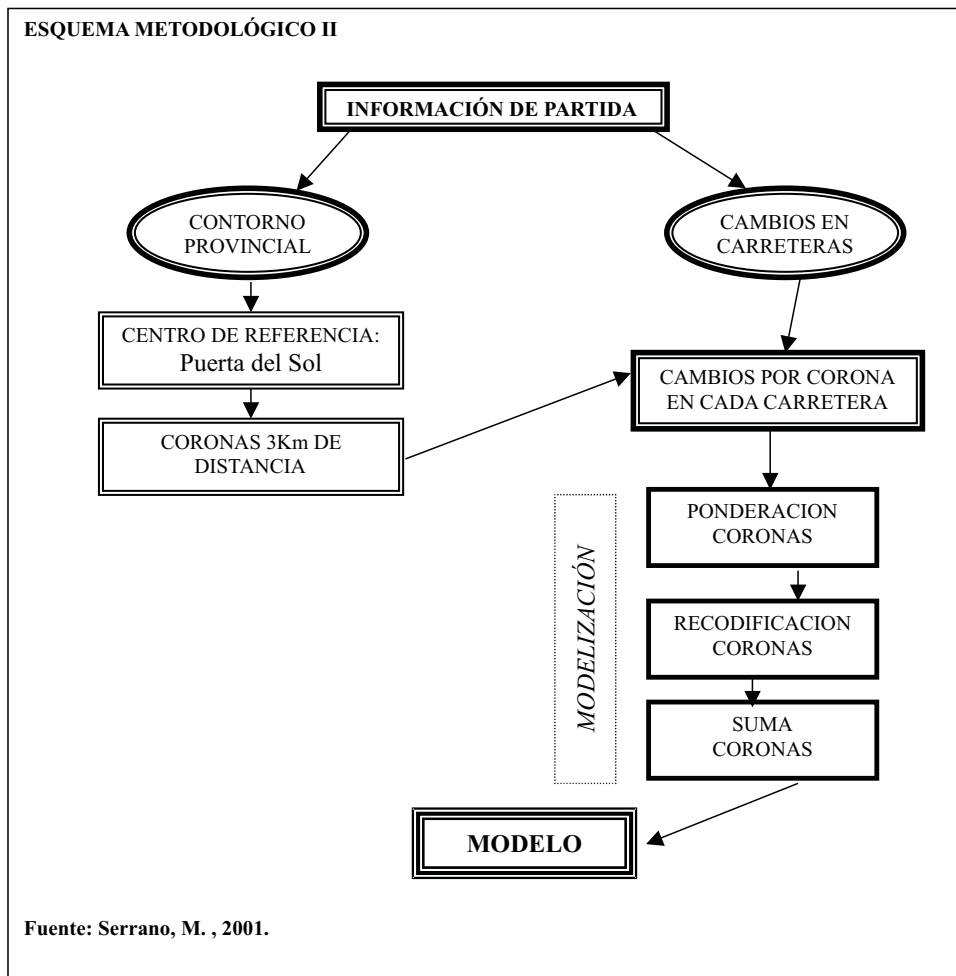


FIGURA 11

estudio (extraído de la *BCN200*) a partir del cual establecer el área de influencia de las carreteras (1 Km. a ambos lados de la carretera); el área de influencia se consigue realizando un *buffer* de distancia en cada una de las carreteras analizadas. Finalmente, la intersección entre el mapa de cambios en la Comunidad de Madrid y el área de influencia de las carreteras da como resultado un mapa que muestra los cambios de usos del suelo a urbano en las carreteras. La figura 10 muestra el esquema metodológico llevado a cabo en la primera fase de elaboración de este modelo.

2ª Fase. Esta fase establece la variabilidad de los cambios en función de la distancia; posteriormente, tras un proceso de abstracción se genera un modelo que explica cómo se ha producido el desarrollo urbano en las carreteras analizadas. Para ello, en primer lugar, se subdivide el espacio correspondiente a la Comunidad de Madrid en

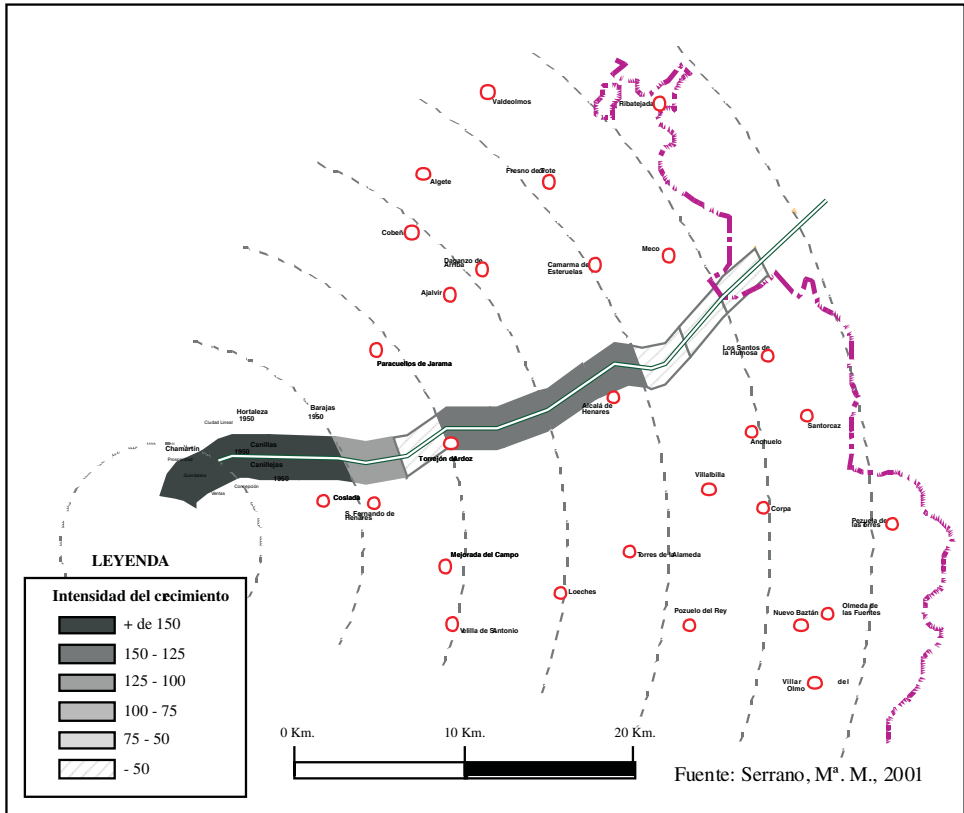


FIGURA 12  
 MODELO DE DESARROLLO URBANO EN LA N II

coronas de distancia de 3 Km. a partir de un centro de referencia (Puerta del Sol de Madrid). En segundo lugar, es necesario aplicar estas coronas de distancia al mapa de cambios en las carreteras (resultado de la fase anterior); es decir, hace falta subdividir el mapa de cambios en las carreteras en coronas de 3 Km. de distancia. El resultado de este proceso es la subdivisión de la N II (carretera de Barcelona) en 13 coronas y de la N III (carretera de Valencia) en 21.

Una vez obtenidos los cambios a uso urbano por corona en cada carretera, el siguiente paso es normalizar y ponderar esos cambios; desde este momento, aparece el proceso de abstracción que permite generar el modelo. La ponderación se establece teniendo en cuenta el porcentaje total de los cambios 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, así, cada corona de cada carretera queda caracterizada por un único valor que refleja intensidad de cambio.

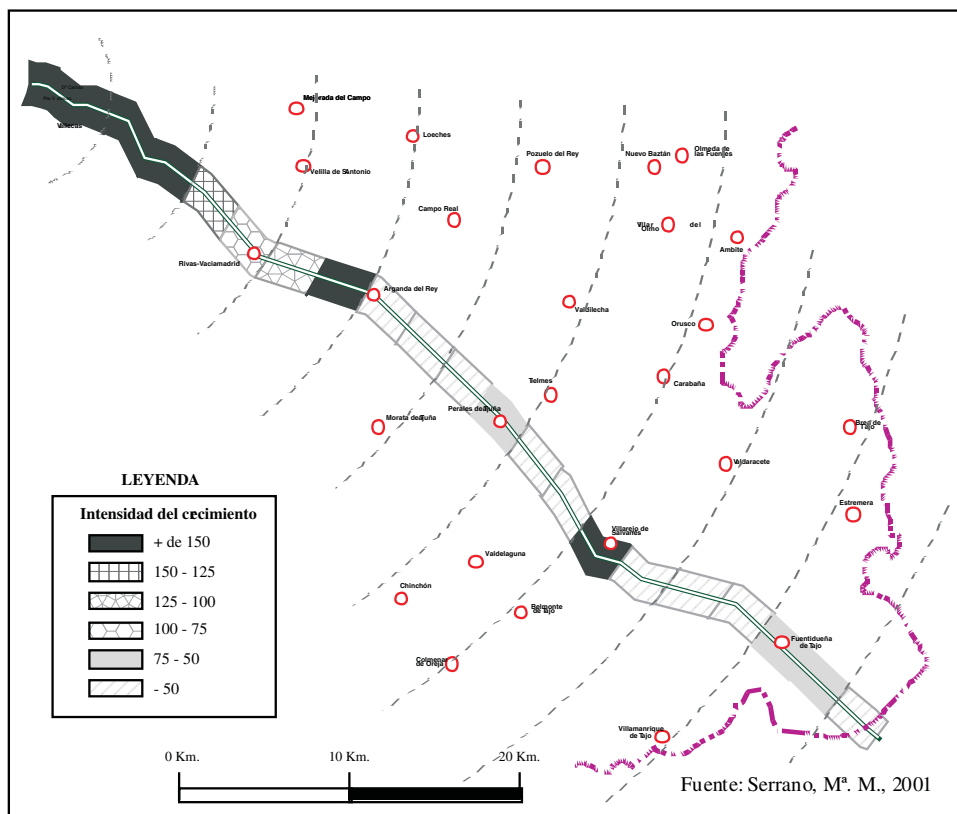


Figura 13  
**MODELO DE DESARROLLO URBANO EN LA N III**

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 cada una de las coronas de las carreteras.

El último paso para conseguir el modelo consiste en unir las diferentes coronas que forman la carretera (figuras 12, 13). La figura 11 muestra el esquema metodológico llevado a cabo en la segunda fase de elaboración del modelo.

## CONCLUSIONES

La evolución experimentada en los últimos años por las fuentes de información geográfica y por las técnicas de análisis (imágenes de satélite, Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica) amplían las posibilidades de construcción, desarrollo e inter-

pretación de modelos espaciales. La combinación de todas ellas nos ha permitido generar un modelo de transporte y desarrollo urbano que muestra la importancia que tienen las carreteras radiales (N II y N III) en el desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid.

Entendemos que un buen modelo es aquél que aplicado a diferentes espacios con similares características, permite establecer conclusiones válidas para la mayoría de los espacios. Nuestro modelo es más bien de tipo descriptivo, porque nos ayuda a explicar sólo un espacio; pero, una vez comprobada la validez de la metodología, pueden elaborarse modelos similares para otras grandes ciudades y con ello explicar la importancia de las carreteras en del desarrollo urbano.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANAS, A. (1998): «Transport and Land Use: Editor's Introduction», *Urban Studies*, Nº 35, 7, pp. 1015-1018.
- BRYAN, J. ET ALL. (1997): «Road infrastructure and economic development in the periphery: the case of A55 improvements in North Wales», *Journal of Transport Geography*, 5, 4, pp. 227-237.
- CHORLEY, R. J. y HAGGETT, P. (1971): *La geografía y los modelos socio-económicos*, Madrid, IEAL, Instituto de Estudios de Administración local, 437 pp.
- CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección espacial*, Madrid, Ediciones RIALP S.A., 453 pp.
- COMUNIDAD DE MADRID (1991): *El transporte en la región de Madrid. Balance de un cuatrienio (1987-1990)*, Madrid, Consejería de Política Territorial, 192 pp.
- ERDAS (1997): *ERDAS Field Guide*, Atlanta, Erdas, Inc., 656 pp.
- EUROPEAN COMMISSION (1994), *Corine Land Cover Technical Guide*, Luxemburgo, European Commission.
- GAGO GARCÍA, C. (1998): *Región, Política y Transporte aéreo*, Tesis Doctoral inédita, Madrid, UCM, 949 pp.
- GAUTHIER, H. L. y TAAFFE, E. (1973): *Geography of Transportation*, Prentice-Hall Inc. Estados Unidos, 226 pp.
- GIULIANO, G. y GILLESPIE, A. (1997): «Research issues regarding societal change and transport», *Journal of Transport Geography*, 5, 3, pp. 165-176.
- GIULIANO, G. (1986): «Land use impacts of transportation investment: Highway and transit», en Hanson, S. (Ed.), *The Geography of urban transportation*, New York, The Guilford Press.
- GUTIÉRREZ DEL OLMO, J. y MORENO, V. (2000): «Pasado presente y futuro de la teledetección de alta resolución. El satélite IKONOS», *Mapping*, 64, pp. 34-40.
- GUTIÉRREZ, J. y GÓMEZ, G. (1999): «The impact of orbital motorway on intra-metropolitan accessibility: the case of Madrid's M-40», *Journal of Transport Geography*, 7, pp. 1-15.
- GUTIÉRREZ, J. (1999): «Las autopistas de circunvalación y la dinámica metropolitana», en J. Antón (Ed.). *La Geografía de los Servicios en España*, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Grupo de Trabajo Geografía de los servicios, Asociación de Geógrafos Españoles, pp. 346-368.

- HAGGETT, P. (1975): *Análisis Locacional en la Geografía Humana*, Barcelona, Gustavo Gili, 439 pp.
- HAGGETT, P. (1988): *Geografía. Una síntesis moderna*, Barcelona, Omega, 668 pp.
- HALL, P. (1993): «Red viaria y desarrollo urbano», *Movilidad y territorio en las grandes ciudades: el papel de la red viaria*, Madrid, MOPTMA, pp. 15-40.
- HANSON, S. (1986): *The geography of urban transportation*, New York, Guilford Press, 424 pp.
- HARVEY, D. (1983): *Teorías, leyes y modelos en geografía*, Madrid, Alianza Universidad, 499 pp.
- HAY, A. (1974): *Transport for the Space Economy*, Sheffield, Macmillan, 192 pp.
- JOHNSTON, R. J., ET AL. (2000): *Diccionario Akal de Geografía Humana*, Madrid, Akal, 592 pp.
- LACHENE, R. (1965), «Networks and the location of economic activities», *Regional Science Association Papers*, nº 14, pp. 183-196.
- LINNEKER, B. y N. SPENSE. (1996): «Road transport infrastructure and regional economic development. The regional development effects of the M25 London orbital motorway», *Journal of Transport Geography*, 42, pp. 77-92.
- PACIONE, M. (1999): *Applied Geography: Principles and Practice*, London, Routledge.
- PELLEGRINO, P. (1999): «Infraestructuras et forme urbaine», *Espaces et sociétés*, 95, 1, pp. 5-19.
- POTRYKOWSKI, M. y TAYLOR, Z. (1984): *Geografía del Transporte*, Barcelona, Ariel, 303 pp.
- SERRANO, M. (2001): *Infraestructura de transporte y desarrollo urbano: aproximación metodológica por medio de teledetección aplicada al área urbana de Madrid*, Tesis doctoral, Madrid, 613 pp.
- SOTELO, J. A. (1999): *Modelos de Organización y desarrollo regional*, Madrid, Observatorio Medioambiental. I.U.C.A. U.C.M.
- SUTTON, C. J. (1999): «Land use change along Denver's I-225 beltway», *Journal of Transport Geography*, 7, pp. 31-41.
- TAAFFE, E. J., MORRILL, R. L. y GOULD, P. R. (1963): «Transport Expansion in Underdeveloped Countries; A comparative analysis», *Geog. Review*, 53, pp. 503-529.
- WEBER, A. (1929): *Theory of the Location of Industries*, Chicago, Chicago University Press.
- WHITE H. P. y SENIOR M. L. (1983): *Transport Geography*, Essex, Longman Scientific and Technical, 224 pp.