

Accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red carretera pavimentada: un enfoque metodológico

Luis Chías Becerril*

Antonio Iturbe Posadas**

Francisco Reyna Sáenz***

Recibido: 22 de febrero de 2001

Aceptado en versión final: 6 de noviembre de 2001

Resumen. Se presenta el desarrollo de un procedimiento metodológico para la valoración de la accesibilidad de las localidades mexiquenses a las principales vías de comunicación terrestres (carreteras pavimentadas). Los cálculos de la accesibilidad se realizaron con el apoyo de la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG) y los resultados permiten establecer la comparación entre el análisis tradicional de la accesibilidad como un espacio bidimensional y la precisión que se obtiene al considerar la participación del relieve.

Palabras clave: Transporte, accesibilidad, Estado de México, sistemas de información geográfica.

Accessibility of locations within the State of Mexico to the paved highway network: a methodological approach

Abstract. This paper presents a methodological procedure developed for the evaluation of accessibility of towns located in the State of Mexico to the main terrestrial communication roads (paved highways). The calculations of accessibility were carried out with the support of the Geographical Information Systems (GIS). The results allow to compare the traditional analysis of accessibility, as a two-dimensional space, to the precision obtained when relief is incorporated.

Key words: Transport, accessibility, state of Mexico, Geographical Information Systems.

INTRODUCCIÓN

La accesibilidad, entendida como un concepto multidimensional y complejo, implica dos componentes de naturaleza distinta: la connotación *geográfica* o distancia física a la que se encuentran las cosas o servicios a los cuales se pretende acceder; y la componente *social*, que involucra tanto las características del usuario (ingreso, nivel de escolaridad, etc.), como las del servicio demandado (organización, costo, etc.).

Los estudios relacionados con la accesi-

bilidad física o potencial son comunes en la Geografía y la planeación urbano-regional, disciplinas donde se ha generado una abundante literatura al respecto; en cambio, los estudios de la accesibilidad que involucran variables socioeconómicas son más escasos y recientes (Harvey, 1973; Smith, 1977; Knox, 1978; Stock, 1983). Estas dos formas de estudiar la accesibilidad consideran y utilizan diferentes medidas e indicadores: la física estima, fundamentalmente, la accesibilidad geográfica que se deriva de la localización relativa entre usuarios potenciales y los objetos o servicios

* Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D. F. E-mail: lchias@yahoo.com

** Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística Catastral, del Estado de México, Plaza Fray Andrés de Castro, Edif. C, 1er piso, Col. Centro, 50000 Toluca, Estado de México.

*** Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec s/n, Toluca, Estado de México. E-mail: freyna@yahoo.com

requeridos. La accesibilidad *social*, por su parte, intenta conocer el acceso y el uso real de los servicios (Aday *et al.*, 1980; Joseph y Phillips, 1984).

Al reconocer que la proximidad o lejanía física no garantiza ni limita por sí sola la probabilidad real de acceder a ciertos servicios, se entiende que estas dos formas de estudiar la accesibilidad, más que excluyentes, resultan complementarias. Además, en ambos casos se han desarrollado metodologías particulares con distintos niveles de complejidad.

En este trabajo se aborda el caso concreto de la accesibilidad física o potencial que tienen las localidades del Estado de México a la red de carreteras pavimentadas, utilizando y comparando dos modelos de análisis: en el primero se aplica el criterio bidimensional, donde la distancia se analiza sobre una superficie hipotéticamente plana. Este modelo se desarrolla aplicando los algoritmos de proximidad inscritos en la tecnología SIG. El segundo modelo se obtiene a través de la aplicación de un algoritmo requerido para considerar la participación del relieve como un friccionante geográfico (funciones de fricción).

LOS SIG Y EL MATERIAL UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCESIBILIDAD

Los SIG son instrumentos de prospección del territorio, entre sus principales características destaca la posibilidad de efectuar múltiples y complejos análisis espaciales, a partir de la información contenida en sus bases de datos. Las numerosas variables físicas y socioeconómicas almacenadas, permiten elaborar complejos modelos de la realidad, cuya diversidad y potencialidad guarda estrecha relación con las características y capacidades del *software* o de los *software* que forman parte del sistema.

El contenido de las bases de datos de cualquier SIG varía ampliamente, en función del tema y objetivo del estudio, disponibilidad de la información, precisión requerida, costos, temporalidad, etc.; sin embargo, diversas variables son comunes a un sinnúmero de investigaciones y otras, en cambio, son de uso muy limitado.

Una de las principales ventajas de desarrollar análisis espaciales en torno al transporte, y en particular a la accesibilidad bajo un ambiente SIG, radica en la posibilidad de la experimentación y elaboración de diversos escenarios. El desarrollo del conocimiento y la tecnología SIG permite estudiar eventos de gran complejidad, con suma rapidez y de diversas maneras, posibilitando la identificación precisa y oportuna de tendencias, nuevos patrones, formas de asociación/disociación y, sobre todo, posibilitar adecuadas soluciones a partir de cuestionamientos del tipo: ¿Qué pasaría si ocurriera cierto fenómeno en determinado momento y espacio? (Trevor *et al.*, 1995).

Para analizar la accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red de carreteras pavimentadas, se utilizó información disponible en formato digital, considerando sus características de precisión, temporalidad y consistencia lógica, referente a su estructura y contenido general, para su introducción, manejo y análisis en ambiente SIG.

Las variables utilizadas para calcular la accesibilidad fueron las siguientes: los datos relativos a las carreteras pavimentadas; la ubicación puntual de todas las localidades registradas en 1995 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); y el modelo de elevación digital correspondiente a la zona en estudio. El límite estatal corresponde al definido por el IGECEM (Instituto de Investigaciones e Información Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México) en 1995.

Las diferentes coberturas generadas fueron manejadas bajo el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator, zona 14, y como Datum, el norteamericano de 1927. Los *software* de SIG empleados fueron ArcVIEW GIS ver. 3.0a e IDRISI para Windows ver. 2.0. Una mayor definición de las variables empleadas, así como los atributos asociados, son descritos a continuación:

1. *Carreteras pavimentadas del Estado de México*: provienen del inventario nacional de infraestructura carretera que realiza el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), con sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés). Esta base cartográfica contiene la información carretera de mayor actualidad y exactitud, no sólo del Estado de México, sino de todo el país. La información empleada corresponde exclusivamente a la red carretera pavimentada (líneas) y el atributo asociado de jurisdicción. La Tabla 1 describe el tipo de camino pavimentado y sus características métricas.

2. *Nomenclator de localidades*: corresponde al Censo de Población que realizó el INEGI en 1995. Se tomó en cuenta la ubicación puntual de cada asentamiento humano, la

población total al año del levantamiento y el nombre de la localidad; se utilizaron 4 786 localidades, con un total de 11 700 052 habitantes. Es de resaltar que en la fuente original, 581 localidades no poseen dato de población y sólo 349 poseen más de 2 500 habitantes.

3. *Modelo de Elevación Digital del Terreno*: se utilizó para elaborar el esquema cartográfico de accesibilidad tridimensional; corresponde al elaborado por el Instituto de Geografía, UNAM. El tamaño de celda es de 90 m y para el Estado de México se registra una altitud mínima de 371 msnm y una máxima de 5 500 msnm.

La información referente a la altitud del terreno es importante para estudios físico-geográficos (geomorfológicos, hidrológicos, edafológicos, etc.), y socioeconómicos (planeación, desarrollo urbano y regional, etc.). Consecuentemente, se han desarrollado diversos algoritmos para facilitar el análisis automatizado del relieve terrestre, permitiendo entre otras operaciones, el cálculo de pendientes y la cuantificación de volúmenes de una superficie.

Tabla 1. Tipo de carreteras pavimentadas: jurisdicción y longitud

Jurisdicción	Longitud (km)	Porcentaje (%)
Carretera federal libre de dos carriles	676.05	13.70
Carretera federal libre de cuatro carriles	97.81	1.98
Carretera federal de cuota de cuatro carriles	197.37	4.00
Carretera estatal libre de dos carriles	3 510.57	71.16
Carretera estatal libre de cuatro carriles	232.08	4.70
Carretera estatal cuota de dos carriles	0.06	0.00
Carretera estatal concesionada	101.98	2.07
Carreteras concesionadas	117.43	2.38
TOTAL	4933.39	100

Fuente: Elaborado con base en el IMT (1997), *Inventario de Carreteras del IMT*, México.

Al respecto, es importante mencionar que existen diferentes mecanismos para almacenar datos sobre la altitud del terreno, entre los de uso más común destacan: las curvas de nivel, los modelos de elevación del terreno, las redes irregulares de triángulos y los *lattice*. La representación digital y continua de los valores de altura del terreno, a través de una malla regular de celdas, referidos a un datum en común, se conocen como Modelos de Elevación del Terreno (MDE), representados por una matriz de teselas con valores igualmente espaciados a través de una superficie. Constituyen arreglos de columnas y renglones de resolución definida, donde una celda describe el valor de la altura y donde se asume que el valor es constante dentro de cada unidad individual, pixel o celda (ESRI, 1992:a; ESRI, 1992:b).

Los MDE se generan normalmente a través de la interpolación de los valores de altura contenidos en entidades puntuales, por medio de líneas que unen puntos de igual valor (isohipsas) o mediante el uso de imágenes digitales (Vargas, 1993).

Entre los principales análisis que pueden ser llevados a cabo sobre un MDE, se encuentran la generación de contornos, cálculo de pendiente, análisis de entorno, sombreado del relieve (*shaded relief*), cálculo de volúmenes, generación de perfiles, visualización del terreno en tercera dimensión y análisis de visibilidad (Palacio *et al.*, 1991). Algunos de estos resultados pueden ser empleados en el estudio de diversos aspectos relacionados con la actividad del transporte, como es el caso de la accesibilidad.

LOS MODELOS DE ACCESIBILIDAD UTILIZADOS Y SUS RESULTADOS

El estudio de la accesibilidad bajo el esquema tecnológico de los SIG, demanda la estructuración de los datos con las características requeridas por dicha tecnología.

Para cumplir con los objetivos planteados, se conformaron cuatro coberturas correspondientes a las carreteras pavimentadas; el nomenclator (ubicación puntual de las localidades); el modelo de elevación digital del terreno (MDE), y el límite estatal. Cada capa de datos contiene, además, los atributos asociados primarios en correspondencia con su temática; por ejemplo, la cobertura de localidades contiene la población total y el nombre de la localidad.

Para el análisis comparativo de la accesibilidad física o potencial, conceptualmente se elaboraron dos modelos. En el primero, el espacio se consideró como un ente bidimensional, asumiendo una homogeneidad o espacio plano, sin influencia del relieve. En el segundo modelo, al incluir la variable altura a través de la pendiente de las laderas como un friccionante, el relieve se incorporó como elemento que modifica significativamente las medidas de la accesibilidad bidimensional. Este modelo permite calcular con mayor precisión, la distancia de las localidades del Estado de México a la red de carreteras pavimentada.

1. El modelo bidimensional

Los estudios tradicionales de accesibilidad, que se desarrollan en numerosos atlas y estudios geográficos, parten de considerar la cobertura o acceso de las vías de comunicación a partir de la generación de bandas o áreas de influencia (*buffer* en inglés), equidistantes a partir de una determinada distancia sobre una línea, punto o polígono. En consecuencia, cada *buffer* es paralelo y abarca una distancia previamente determinada, generando una idea muy relativa de la distancia real, sobre todo en aquellos casos donde el relieve es enérgico y abrupto.

A partir de estas áreas de influencia (polígonos) y aplicando funciones de sobreposición topológica sobre las localidades (puntos), se logra identificar, cuantificar y cualificar los

asentamientos humanos que se localizan dentro de cada área, con lo cual se tiene un modelo de la accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red de carreteras pavimentadas. Sin embargo, este modelo, al no contemplar la participación del relieve, puede modificar sensiblemente el concepto de cercanía/alejamiento (Figura 1).

Esta opción para la concepción de la accesibilidad trae consigo una serie de desventajas, entre las que cabe señalar la necesidad de realizar la construcción de diferentes escenarios según sea necesario, lo que constituye un proceso relativamente tardado en los procesos computacionales de acuerdo con la cantidad de vértices empleados en las carreteras (densidad de la información), en especial en aquella que presenta alta precisión. Asimismo, la realización de *buffers* implica un proceso que, por sí mismo, se traduce en cierta generalización de las vías de comunicación que genera un determinado grado de error.

De manera particular, se considera que el mejor método para estimar la accesibilidad potencial de las localidades mexiquenses a la red carretera pavimentada, bajo un modelo bidimensional, es el que se puede obtener calculando la distancia existente de cada asentamiento humano (localidad) al camino más cercano, a través de las funciones de proximidad (ESRI, 1991).

El análisis de proximidad entre las localidades y las carreteras implica el conocimiento del punto (localidad) más cercano a cualquier segmento lineal (vías de comunicación terrestres). Es importante destacar, que al igual que todo proceso realizado con el apoyo de la tecnología SIG, la precisión o exactitud de los resultados depende por supuesto de la calidad de los datos de entrada.

En el análisis de proximidad, en lugar de áreas se identifican y representan carto-

gráficamente puntos, que ganan en precisión al referirse a su distancia particular. La panorámica general del evento analizado, se obtiene mediante la agrupación o estratificación de esos valores como se aprecia en el ejemplo contenido en la Figura 2.

La aplicación del proceso de análisis topológico vectorial entre las localidades del Estado de México y su red carretera pavimentada permite el conocimiento a detalle de partes de metro, entre la distancia del asentamiento y el tramo de carretera más próximo. De las 4 786 localidades, se obtuvo que la distancia mínima es de 0.0146 m y la máxima de 21 668.59 m; la media aritmética es de 2 079.6 m y la desviación estándar de 3 017.03 m.

Después de calcular la accesibilidad al nivel individual de localidad, es posible realizar el agrupamiento o estratificación de los valores, para generar un panorama territorial más comprensible del comportamiento del fenómeno. Sin embargo, debe señalarse la dificultad que implica este proceso, al cuestionarse cuáles son o deberían ser los rangos más adecuados para el estudio de la accesibilidad potencial. Por ejemplo, el intervalo de 0 a 1 000 m tiene una explicación relativamente lógica, al generar resultados aceptables en las zonas llanas; en tanto que su aplicación puede tener significativos grados de error en aquellas áreas donde el relieve es abrupto. La consideración de ciertos aspectos, directamente relacionados con los servicios de transporte, también puede generar imágenes sesgadas; por ejemplo, una distancia de 2 000 a 5 000 m tiene significados notablemente distintos cuando se estudian los desplazamientos cotidianos que se realizan en las zonas urbanas o rurales.

Para ejemplificar esta situación se crearon cuatro diferentes escenarios, cuyos resultados se desglosan en la Tabla 2.

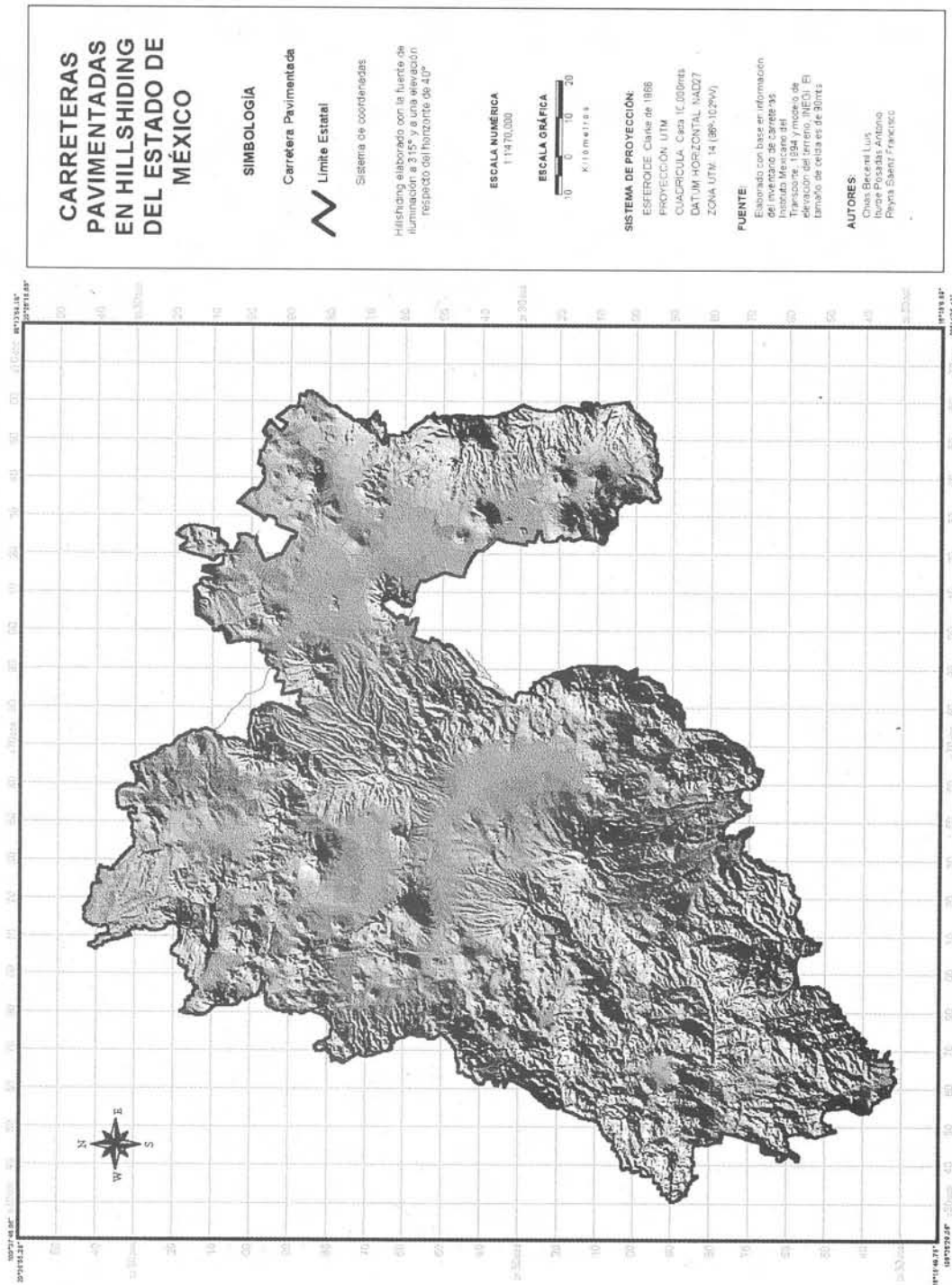


Figura 1. Carreteras pavimentadas en hillshading del Estado de México.

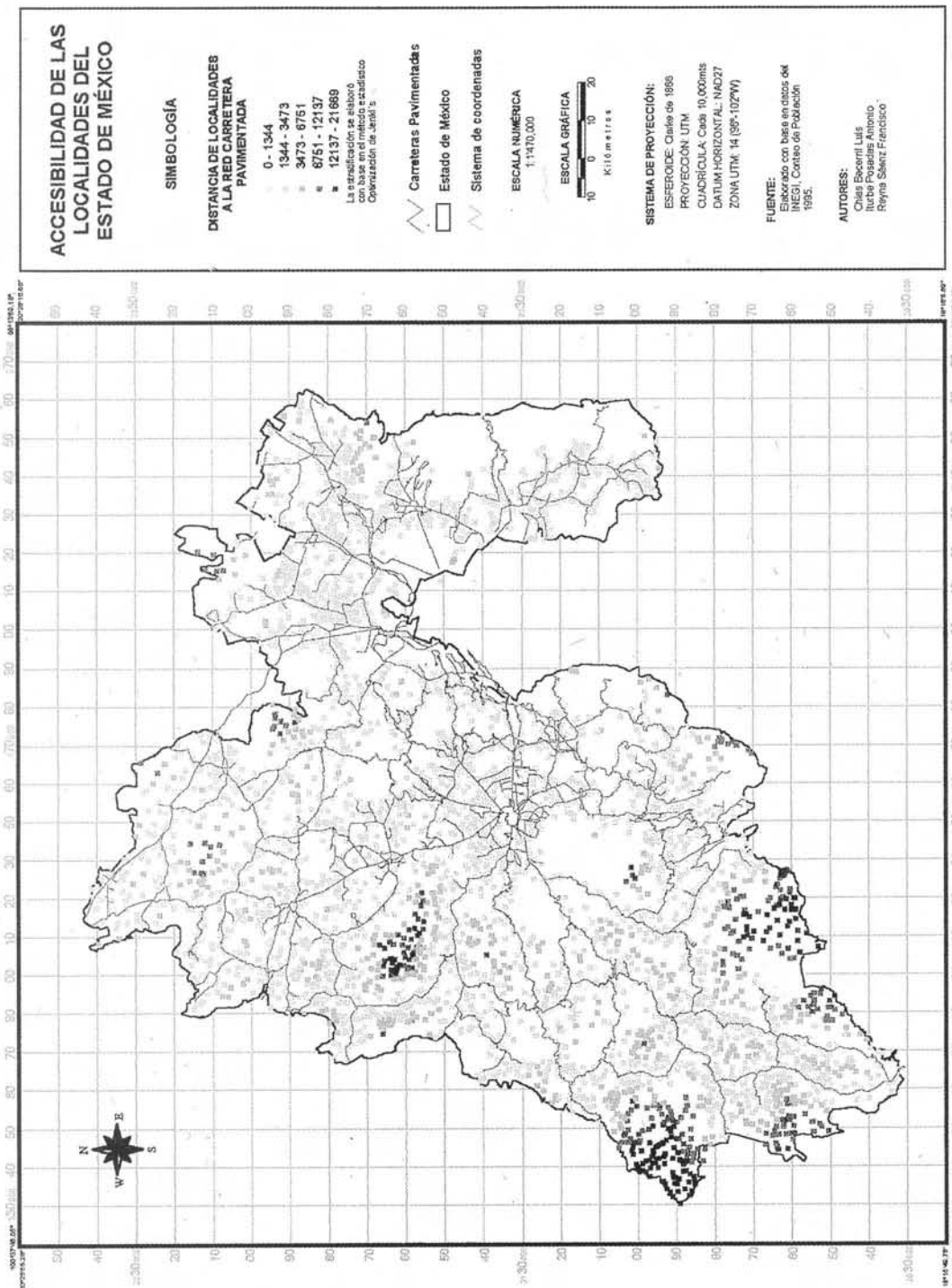


Figura 2. Accesibilidad de las localidades del Estado de México.

Tabla 2. Escenarios bidimensionales de accesibilidad con diferentes criterios de estratificación

Acceso o rango de distancia (m)	Número de localidades	%	Población total	%
ESCENARIO UNO				
0-250	1117	23.33	5 221 626	44.62
250-500	591	12.34	2 016 738	17.23
500-1000	712	14.87	886 750	7.57
1000-1500	527	11.01	2 341 613	20.01
>1500	1839	38.42	1 233 325	10.54
ESCENARIO DOS				
0-500	1708	35.68	7 238 364	61.86
500-1000	712	14.87	886 750	7.57
1000-1500	527	11.01	2 341 613	20.01
1500-2500	622	12.99	690 436	5.90
>2500	1217	25.42	542 889	4.64
ESCENARIO TRES				
0-1000	2420	50.56	8 125 114	69.44
1000-2000	909	18.99	2 915 886	24.92
2000-5000	928	19.38	510 964	4.36
>5000	529	11.05	148 088	1.26
ESCENARIO CUATRO				
0-1344	2815	58.8	10 404 713	88.92
1344-3473	1132	23.65	1 034 384	8.84
3473-6751	487	10.17	175 751	1.50
6751-12137	246	5.13	76 282	0.65
12137-21669	106	2.21	8 922	0.07

Fuente: Elaboración propia a partir de la sobreposición topológica de las coberturas elaboradas para su aplicación en sistemas de información geográfica.

En dicha tabla se advierte que el porcentaje de localidades que se encuentran en el primer rango del escenario uno al cuatro (mismo que se podría considerar como el de mejor accesibilidad a la red carretera), oscila desde el 44.62% a casi el 89% de las localidades consideradas. Por el contrario, el porcentaje de asentamientos que se encuentra en el último rango de los escenarios mencionados (el cual correspondería a las localidades con los niveles más bajos de accesibilidad), va desde el 0.7% (escenario 4), hasta el 10.5% (escenario 1). Para matizar la selección de tal o cual escenario, deben evaluarse los objetivos planteados, hacer uso del conocimiento del territorio analizado y recordar que los resultados siempre tendrán cierto rango de incertidumbre por la abstracción del relieve.

En este sentido, el uso de los SIG's facilita el aspecto metodológico del trabajo, al permitir la reproducción rápida y oportuna de diferentes escenarios estadísticos y cartográficos, que muestren las distintas consideraciones expuestas.

Sin embargo, al aplicar este método, se siguen registrando significativas distorsiones con respecto a la accesibilidad física real, ya que no se considera toda la red en conjunto (faltan las carreteras secundarias o alimentadoras); para realizar el cálculo se emplean áreas planas, y se sigue haciendo abstrac-

ción del relieve.

2. El modelo tridimensional

Independientemente del escenario que se utilice de la Tabla 2, los resultados para algunas áreas del Estado de México estarán sesgados, sobre todo en aquellas zonas donde el relieve es muy accidentado. Este es el caso de la zona sur, porción oriental y norte del Estado de México, que se aprecian en el mapa de relieve sombreado (*hillshading*) derivado del MED (Figura 3). En la zona sur, por ejemplo, las características topográficas inciden significativamente en la accesibilidad potencial, calculada en términos bidimensionales, para los municipios Tejupilco, Amatepec y San Simón de Guerrero. A la distancia calculada para las localidades de estos municipios, se les debe agregar el costo o friccionante de la accidentalidad del relieve, sólo de esta manera se podrá obtener un panorama de acceso más cercano a la realidad.

A partir del modelo de elevación digital del terreno, se desarrolló el algoritmo requerido para aplicar el proceso que permitiera obtener la accesibilidad física real de las localidades a su red carretera. Con el MDE se derivaron las pendientes correspondientes al territorio del Estado de México, mismas que se reclasificaron en los intervalos a partir de lo señalado en la Tabla 3.

Tabla 3. Intervalos de expresión empírica de la pendiente y su limitación para el transporte

Intervalo (pendientes en grados decimales)	Expresión empírica
0-1.375	Casi horizontal
1.375-2.25	Excesiva para ferrocarriles
2.25-5.5	Excesiva para ciclistas normales
5.5-19.25	Límite para ciclistas
19.25-28.25	Límite para automóviles
28.25-33.5	Muy inclinado
33.5-90.0	Excesivamente inclinado

Fuente: Vázquez y Martín, 1995.

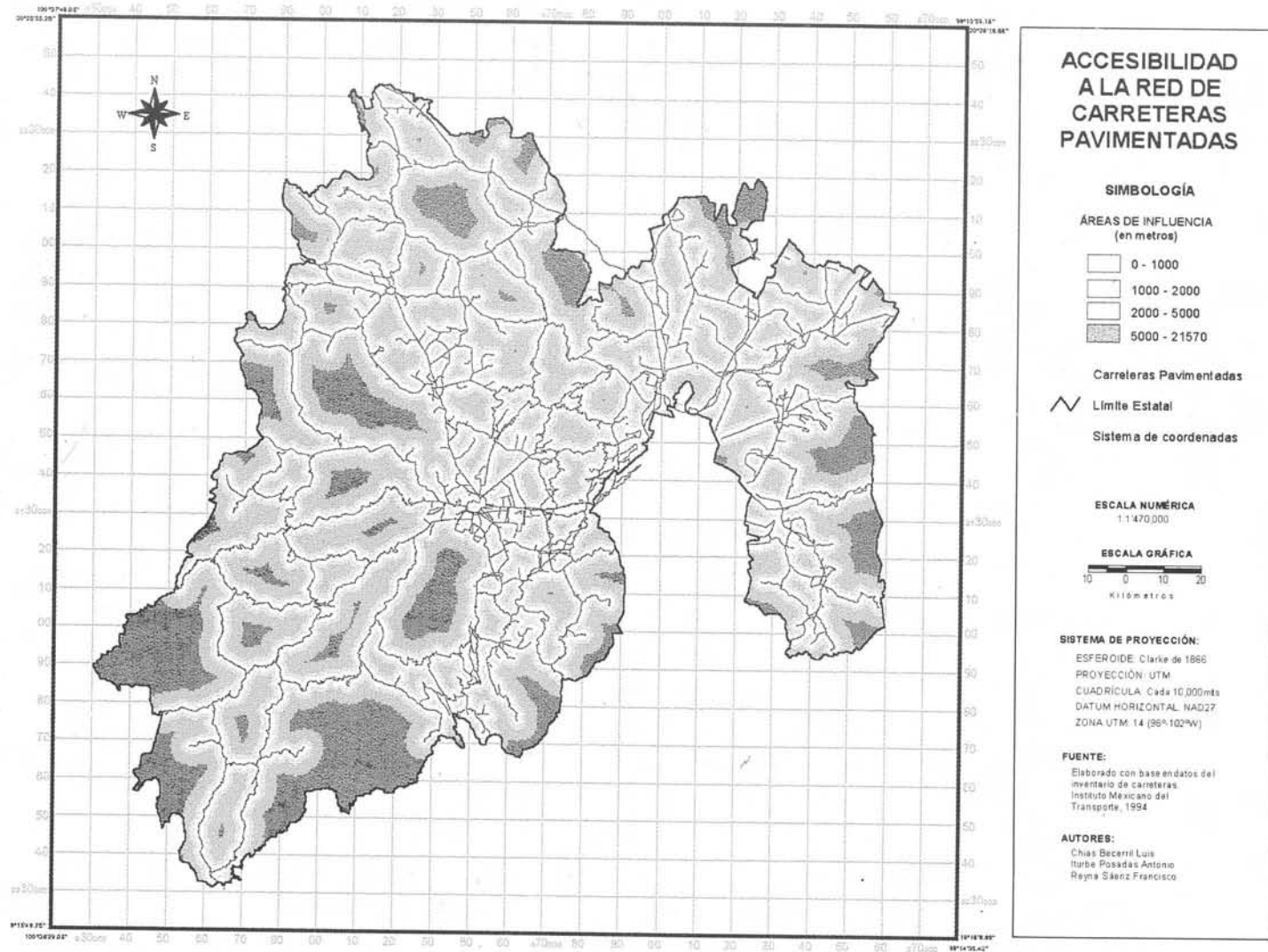


Figura 3. Accesibilidad a la red de carreteras pavimentadas.

La estratificación seleccionada implica una expresión empírica de la inclinación del terreno y su incidencia en actividades relacionadas con el transporte. Empleando los valores de pendientes citados por Vázquez y Martín (1995, *op cit.*), se aplicó un valor friccionante de 1 a la pendiente de 0-1.375, 2 para aquellas de 1.375 a 2.25 grados; 3 de 2.25 a 5.5; 4 de 5.5 a 19.25; 5 de 19.25 a 28.2; 6 de 28.28 a 33.5 y 7 de 33.5 al ángulo recto. Con dichos intervalos se generó una superficie friccionante a partir de la cual se realizó el análisis de proximidad continuo sobre toda la red de carreteras pavimentadas, previamente convertidas a formato reticular con la misma dimensión de celdas que el MDE. El algoritmo para la realización de procesos de fricción se encuentra ampliamente descrito en ESRI (1992:a).

Una vez que se obtuvo un mapa reticular con los resultados del proceso de fricción, se procedió a su reclasificación en 5 rangos, bajo el proceso estadístico conocido como Optimización de Jenki's, el cual se caracteriza por resaltar los valores mínimos y máximos. Los resultados se aprecian cartográficamente en la Figura 4, donde cada polígono contiene la distancia de la carretera a otro punto ponderado por el valor de la pendiente (diferencias altitudinales). La re-

clasificación a partir del criterio definido viene a construir el panorama territorial de la accesibilidad, y para cuantificar las localidades, se procede a su vectorización y posterior sobreposición topológica con las localidades.

La Figura 4 ilustra el resultado de este proceso, donde se observan áreas de influencia completamente distintas a las de la Figura 1, como respuesta a la fricción definida en función de las pendientes. La distancia de la carretera pavimentada a la localidad más alejada en un plano bidimensional es de 21 668.59 m (Tabla 2, escenario 4); en cambio, en la superficie friccionada por el relieve, la máxima distancia cambia su valor a poco más de 75 337 m (Tabla 4). La diferencia es de casi tres veces más y el resultado del análisis de la accesibilidad, también es más cercano a la realidad.

La cuantificación del número de localidades (en números absolutos y relativos), así como de los distintos niveles de accesibilidad potencial que tienen sus habitantes, con respecto a la red de carreteras pavimentadas en el Estado de México, se indica en los datos de la Tabla 4. Al comparar el modelo bidimensional (Figura 1, escenario 4 de la Tabla 2), con el que utiliza al relieve como friccionante (Figura 4 y Tabla 4).

Tabla 4. Accesibilidad potencial utilizando al relieve como friccionante de la distancia

Acceso o rango de distancia (m)	Número de localidades	%	Población total	%	Rangos cualitativos de accesibilidad
0-1344	1989	41.55	8 288 855	70.84	MUY BUENA
1344-3473	1035	21.62	2 783 221	23.78	BUENA
3473-6751	623	13.01	286 345	2.44	REGULAR
6751-12137	482	10.07	182 548	1.56	MALA
12137-75337	657	14.35	159 083	1.35	MUY MALA

Fuente: Elaboración propia a partir de la sobreposición topológica de las coberturas elaboradas para su aplicación en sistemas de información geográfica.

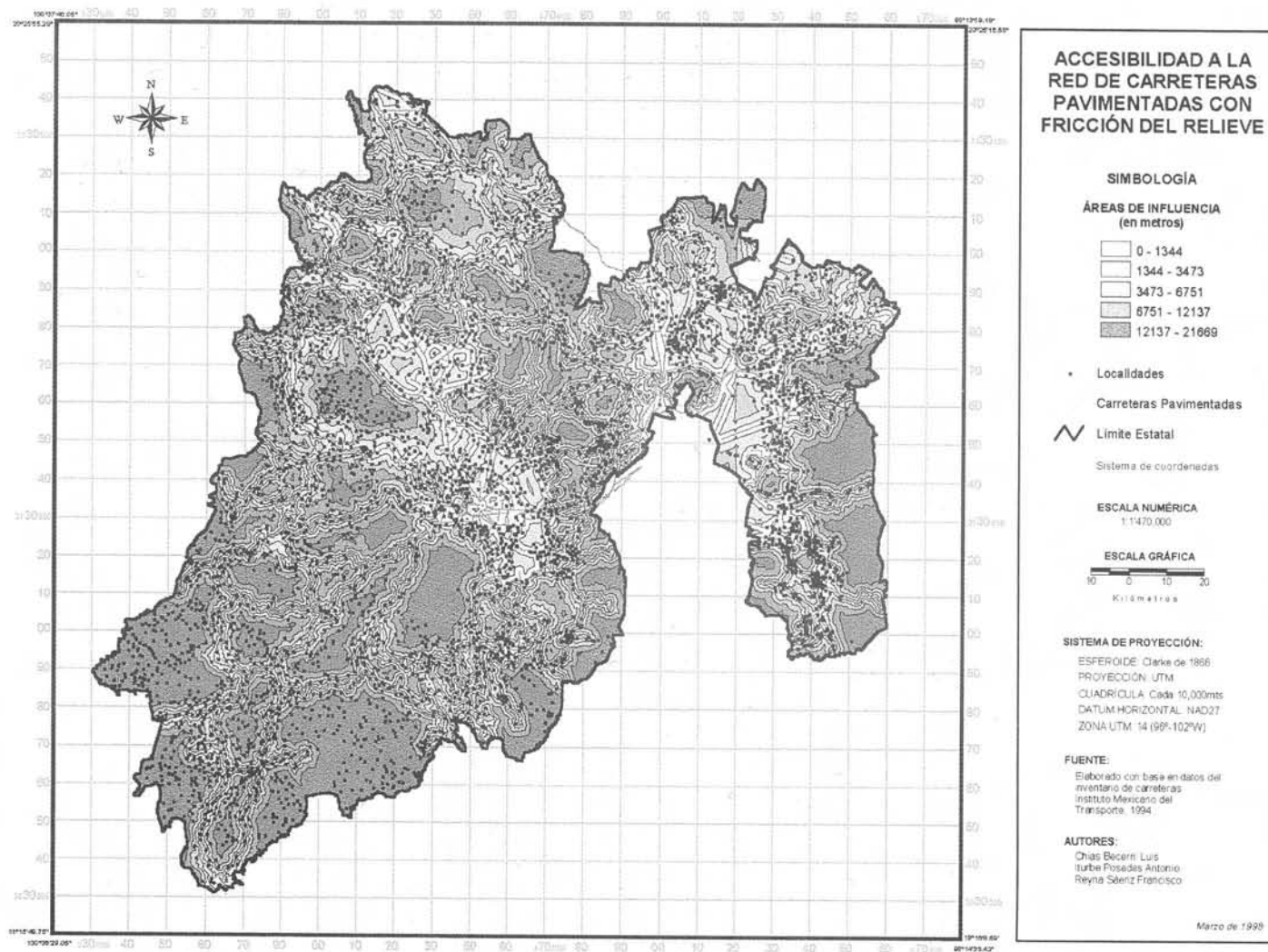


Figura 4. Accesibilidad a la red de carreteras pavimentadas con fricción del relieve.

Destacan los siguientes cambios:

- Al sumar los porcentajes de las localidades que tienen muy buena y buena accesibilidad en el escenario 4 de la Tabla 2, esta cifra es del 82.45%, mientras que, en la Tabla 4 (considerando la participación del relieve), apenas llega al 63.17%; al hacer lo mismo con el número de habitantes que tienen excelentes niveles de accesibilidad potencial a la red carretera pavimentada del Estado de México, las cifras se modifican del 97.7% al 94.6%.
- Al sumar los porcentajes registrados en los rangos de regular, mala y muy mala accesibilidad, resulta que las localidades que registran serios problemas de acceso a los caminos pavimentados se incrementan comparativamente hablando, del 17.5% al 37.4%; en tanto que, la población afectada aumenta del 2.2% al 5.3%.

Sin duda, la toma de decisiones para efectos de planeación y desarrollo de nuevas infraestructuras viales y su cobertura de comunicación, cambia significativamente en términos no sólo económicos, sino también territoriales, mediante el procedimiento metodológico realizado, dado que las zonas y las localidades más afectadas pueden identificarse con facilidad, analizando los resultados tabulares y la expresión territorial del evento, que se aprecia en la Figura 4.

CONCLUSIONES

La aplicación de los SIG en el estudio de actividades relacionadas con la geografía del transporte, y en particular la accesibilidad de las localidades a las principales vías de comunicación terrestre (carreteras pavimentadas), constituyen una herramienta de gran

valor para su cuantificación y cualificación.

La inclusión de la variable correspondiente al relieve para un acercamiento más real de las condiciones de accesibilidad potencial, a través del empleo de modelos de elevación digital y sus productos derivados, son de gran valor para el conocimiento real de la proximidad/distanciamiento de las localidades a la red carretera pavimentada.

La integración al proceso metodológico de otras variables, como carreteras de terracerías, gasolineras, paraderos de autobús, servicios de transporte e información digital del relieve con mayor detalle, deberán afinar aún más los resultados de la accesibilidad potencial. Pero, incluso los indicadores temporales o económicos de la distancia física (tiempo y costo de transporte), deben relacionarse con las condiciones socioeconómicas de los usuarios potenciales, para conocer y estimar su importancia relativa y su significado.

Por lo que respecta a los resultados promedio obtenidos para la accesibilidad física, más del 61% de la población está a menos de 1.0 km de distancia de las carreteras pavimentadas y más del 90% a menos de 2.0 km, incluyendo la consideración del relieve. Esto nos permite concluir que el Estado de México cuenta con una excelente cobertura vial, para desarrollar los servicios (de salud, educativos, abasto alimentario, etc.) que demandan las poblaciones con mayor número de habitantes. Si se considera el número de localidades en exclusivo, los resultados son igual de positivos, haciendo énfasis en que el uso del relieve como friccionante de la accesibilidad, diferencia considerablemente los niveles de acceso y el número de localidades impactadas.

NOTAS Y AGRADECIMIENTOS

El trabajo forma parte del desarrollo metodo-

lógico que se está realizando para el proyecto *Sistema Automatizado de Cartografía Socioeconómica de México*, financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Científica (PAPIIT-UNAM) y sus resultados también contribuyeron al proyecto *Urbanización, cambio tecnológico e incidencias sociales. Caso de la Región Centro*, que se realiza con el apoyo económico del CONACYT. Se agradece al Instituto Mexicano del Transporte la información digital correspondiente a la red carretera del Estado de México, particularmente externamos nuestro reconocimiento a Miguel A. Backhoff y a Juan Carlos Paulín, por sus atinadas observaciones y recomendaciones.

REFERENCIAS

- ▣ Aday, L. A., R. Andersen and G. Fleming (1980), *Health care in the U. S.: equitable for whom?*, Sage Publications, USA.
- ▣ ESRI (1991), *Understanding GIS. The ARC/INFO Method*, California.
- ▣ ESRI (1992a), *Cell-based Modeling with GRID 6.1*, USA.
- ▣ ESRI (1992b), *Surface modeling with TIN*, 2a. ed., USA.
- ▣ Garrocho, C. (1995), *Análisis socioespacial de los servicios de salud, accesibilidad, utilización y calidad*, El Colegio Mexiquense, A. C., México.
- ▣ Harvey, D. (1973), *Social, justice and the city*, Edward Arnold, London.
- ▣ Joseph, A. and D. R. Phillips (1984), *Accessibility and utilization: geographical perspectives on health care delivery*, Harper and Row, NY, USA.
- ▣ Knox, P. (1978), "The intraurban ecology of primary medical care: patterns of accessibility and their policy implications", *Environment and Planning, A*, 10, pp. 415-435.
- ▣ Palacio Prieto, J. L., J. López Blanco y M. A. Ortiz Pérez (1991), "Evaluación geomorfológica estructural a través de modelos sombreados y pares estereoscópicos generados a partir de modelos digitales de terreno", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 23, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 89-101.
- ▣ Phillips, D. R. and A. M. Williams (1984), *Rural Britain: a social Geography*, Oxford, Blackwell.
- ▣ Stock, R. (1983), "Distance and the utilization of health facilities in rural Nigeria", *Social Science and Medicine*, vol. 17, no. 9, pp. 563-570.
- ▣ Bailey, T. C., A. C. Gatrell (1995), *Interactive spatial data analysis*, Ed. Longman Scientific & Technical, New York, USA.
- ▣ Vargas Cuervo, G. (1993), *Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y SIG*, República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Santa Fé de Bogotá.
- ▣ Vázquez, M. y J. Martín (1995), *Lectura de mapas*, Ed. Euittopográfica y FGUPM, 3ra. ed., Madrid.