

# Efectos del nuevo aeropuerto internacional en la estructura metropolitana de Toluca

CARLOS GARROCHO,

JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ\*

*Los planificadores han aprendido los límites de su ciencia y están dispuestos a considerar otros enfoques. Nuestra fe en la tecnología ha sido sacudida durante los últimos años, pero otras opciones parecen aún menos eficaces.*

Michael Batty, *A Chronicle of Scientific Planning*, 1994

Desde una perspectiva sistémica, la ciudad se puede concebir como un conjunto de actividades (elementos) interconectadas (relaciones) donde las conexiones permiten que las actividades interactúen como sistema.<sup>1</sup> De las innumerables conexiones (medios de comunicación), sólo algunas forman canales espaciales; entre éstos, los de transporte resultan de particular interés para los estudiosos y planificadores de ciudades y regiones.<sup>2</sup>

En su origen, la concepción sistémica de la ciudad generó la idea de “la ciudad-máquina”. Es decir, la que funcionaba como

1. Una revisión amplia de la relación entre la teoría general de sistemas y el análisis urbano puede verse en B. Graizbord y C. Garrocho, *Sistemas de ciudades: fundamentos teóricos y operativos*, Serie Cuadernos de Trabajo, El Colegio Mexiquense, Toluca, México, 1987.

2. B. McLaughlin, *Urban and Regional Planning: A Systems Approach*, Faber and Faber, Londres, 1972. El sistema urbano puede describirse con más facilidad si se distinguen los tipos de actividades (productivas, comerciales, recreacionales, domésticas) y conexiones (demográficas, capital, transporte), y si éstas (fundamentalmente los flujos de transporte) se distinguen por modo (ferrocarril, automóvil, autobús, etc.). Adicionalmente, las actividades pueden cuantificarse con indicadores de inventario (por ejemplo, la cantidad de población, empleo, capital fijo, inversión en una zona), y densidad (población por hectárea, empleos por hectárea, etc.), y las conexiones con indicadores de intensidad de flujo (pasajeros-automóvil por hora, pasajeros-avión por mes, etc.).

una pieza de ingeniería: un sistema cerrado que podría tener problemas pero que, se pensaba, eventualmente se podrían subsanar para recuperar el funcionamiento óptimo. Desde este punto de vista se debía contar con todas las especificaciones técnicas de la ciudad-máquina y con un manual completo de su funcionamiento para tomar oportunamente las medidas correctivas. Las especificaciones y el manual de funcionamiento se sintetizaban, por lo general, en los llamados planes maestros urbanos (PMU). Éstos establecían cómo debería funcionar la ciudad, preveían los posibles problemas, especificaban las soluciones y determinaban la imagen objetiva que debería alcanzar la ciudad en un cierto período.

Sin embargo, aunque la ciudad puede concebirse como sistema, es demasiado simplista entenderla como una máquina, pues es un sistema abierto mucho más complejo, y en su funcionamiento influyen numerosos factores, algunos aparentemente ajenos a la ciudad (la política económica o la situación laboral, por ejemplo). La ciudad no es una máquina que funciona; es un sistema complejo que evoluciona.

Analizar y controlar un sistema complejo y dinámico como la ciudad es más difícil que uno simple y cerrado como las máquinas. No se cuenta con manuales de funcionamiento completos, ni con instrucciones para solucionar los problemas (algunos incluso son imposibles de prever). En este entorno, los PMU son insuficientes. No se requieren manuales ni recetas, sino un entendimiento más completo del sistema urbano –y para esto, más análisis y experimentación– que permita anticipar con cierta certeza las probables situaciones del sistema y explorar –aun-

\* Investigadores de El Colegio Mexiquense, Zinacantepec, Estado de México. Este artículo se elaboró al amparo del Programa de Investigación Siplam, financiado por el Conacyt. Los autores agradecen la participación del personal del Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense.

que sea de forma limitada— sus cursos de evolución ante cambios probables en el entorno, incluyendo los generados por la misma planeación urbana, con el fin de definir con oportunidad las estrategias y las acciones de planeación. Es decir, contar con una base conceptual y operativa para responder cotidianamente a la pregunta clásica de la planeación urbana: ¿qué pasaría si...?

Sin embargo, las posibilidades de experimentar con las ciudades son muy escasas. Sería muy peligroso, costoso y lento,<sup>3</sup> por lo que a veces resulta útil construir modelos analógicos de la ciudad para experimentar y tratar de entenderla mejor.<sup>4</sup>

En este trabajo se explora el probable efecto del nuevo aeropuerto internacional “Adolfo López Mateos” en la estructura urbana de la zona metropolitana de Toluca (ZMT). Se emplea un modelo de estructura urbana de tipo Garin-Lowry en una versión elaborada en el Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense y denominada Siplam: Sistema de Simulación para la Planeación Metropolitana. Éste no sólo incorpora las aportaciones de Lowry, sino también modificaciones propuestas principalmente por Garin, Batty y otros. Entre éstas destacan el empleo de modelos de interacción espacial derivados de la teoría de maximización de la entropía, mecanismos automáticos de calibración e indicadores de la bondad de ajuste del modelo.

Por otro lado, el Siplam está programado para permitir interrelación estrecha con un sistema de información geográfica denominado Mapinfo. Ello facilita la generación y organización de algunos insumos del modelo (distancias, densidades, superficies) y permite presentar los resultados del Siplam en forma cartográfica de manera clara y eficiente. Sin embargo, este prototipo del Sistema está apenas en su primera etapa y aún adolece de limitaciones que afectan sus posibilidades analíticas. Fundamentalmente, se requieren algunos refinamientos para integrar de manera más explícita el sistema de transporte, generar resultados con mayor desagregación y considerar de modo más integral las zonas limítrofes. Los modelos urbanos son siempre perfectibles, sobre todo cuando se constituyen en un programa de investigación, como el Siplam.<sup>5</sup> De cualquier manera, el primer prototipo del Sistema puede ser útil para el análisis de situaciones urbanas muy complejas (como la que se presenta en este trabajo), siempre que se utilice con cuidado y a la luz de sus limitaciones.

Este artículo consta de cinco secciones. En la primera se presentan de manera sucinta la evolución de los modelos urbanos y los principales aspectos del debate en torno a su empleo como instrumentos de apoyo para la planeación. En la segunda se explica la estructura y el funcionamiento del Siplam y se analizan sus ventajas y limitaciones. En la tercera se presentan las prin-

cipales características técnicas del programa computacional del Siplam, el cual se utiliza en la sección cuarta para predecir el efecto del AIT en la estructura urbana de la zona metropolitana de Toluca. En la última sección se presentan las conclusiones del trabajo, se exponen sus principales aspectos y se propone una agenda de investigación.<sup>6</sup>

## LOS MODELOS OPERATIVOS URBANOS

La toma de decisiones siempre se ha apoyado en representaciones del problema en cuestión. Generalmente éstas se manifiestan verbalmente o por escrito, lo cual no las salva de contradicciones, en especial cuando se analizan situaciones complejas. Las representaciones matemáticas, a diferencia de las discursivas, permiten observar claramente los supuestos y las hipótesis en las que se fundamentan, ejercer la crítica sobre bases objetivas y ordenar estructuras de interrelaciones aparentemente caóticas.<sup>7</sup>

Las representaciones matemáticas de fenómenos urbanos se han denominado modelos urbanos. Éstos están aún en sus primeras fases de desarrollo (a pesar de lo realizado desde los años sesenta), pero sirven de apoyo para analizar situaciones urbanas complejas. Los modelos urbanos son operativos si pueden aplicarse para ejercicios concretos de planeación urbana; esto los distingue de los teóricos, cuyo fin es académico.<sup>8</sup> Los modelos operativos urbanos (MOU) intentan describir la ciudad

6. Del Siplam se han derivado algunas ponencias, como las de C. Garrocho y J. A. Álvarez, “Algunos efectos del Tratado de Libre Comercio en la estructura metropolitana de la Ciudad de México”, Conferencia de Geógrafos Latinoamericanistas, Ciudad Juárez, 26 a 30 de septiembre de 1994; “Siplam (Sistema de Simulación para la Planeación Metropolitana): aspectos generales y primeros experimentos”, ponencia presentada en la V Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México, México, 5 a 9 de junio de 1995, y “Modelos urbanos en sistemas de información geográfica: el caso de Siplam (Sistema de Simulación para la Planeación Metropolitana)”, trabajo expuesto en el Segundo Congreso Nacional de Sistemas de Información Geográfica, México 7, a 9 de agosto de 1995. No obstante, éste es el primer artículo que se deriva del Siplam, por lo que es necesario mencionar tanto sus fundamentos teóricos y operativos como sus primeros resultados experimentales.

7. M. Echenique (ed.), *Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: aplicaciones en América Latina*, Ediciones SIAP, Buenos Aires, 1975.

8. Modelos operativos son, por ejemplo, los que se presentan en M. Batty, *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*, Cambridge University Press, Cambridge, 1976; D. Foot, *Urban Models I y II*, Reading Geographical Papers, Departamento de Geografía, Universidad de Reading, Reino Unido, 1978; M. Echenique, D. Anthony, J. Flowerdew, D. Hunt, T. Mayo, I. Skidmore, y D. Simmonds, “The Meplan Models for Bilbao, Leeds and Dortmund”, *Transport Reviews*, núm. 10, 1990, pp. 309-322; T. de la Barra, *Integrated Land Use and Transport Modelling*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989, y “From Theory to Practice: the Experience in Venezuela”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21, núm. 5, 1994, pp. 611-617; J. Owers y M. Echenique (eds.), *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21, núm. 5, 1994; S. H. Putman, *Integrated Urban Models* Pion, Londres, 1983, *Integrated Urban Models 2*, Pion, Londres, 1992; R. Mackett, “The Impact of Transport

3. Aunque a menudo los gobiernos lo hacen de manera involuntaria al realizar grandes inversiones en infraestructura urbana, sin analizar debidamente sus efectos probables y sustentando sus decisiones tan sólo en su intuición política.

4. B. Harris, “Urban Simulation Models in Regional Science”, *Journal of Regional Science*, núm. 25, 1985, pp. 545-568.

5. El Siplam es un programa de investigación multidisciplinario del Laboratorio de Análisis Socioespacial de El Colegio Mexiquense. Participa personal especializado y tesis de licenciatura y maestría en informática, planeación urbana y regional, geografía y transporte.

mediante ecuaciones matemáticas y constituyen, quizá, la visión más práctica del análisis urbano. Ofrecen una versión simplificada y abstracta de algunos aspectos de la ciudad (o la región) y se utilizan para prever escenarios de distribución, localización e interacción de las principales actividades urbanas (la estructura urbana); generar información útil en la planeación física de las ciudades, e incluso explorar ciertas hipótesis y apoyar procesos de investigación.<sup>9</sup>

Casi todos los MOU son determinísticos, exploratorios y estáticos. Determinísticos porque las relaciones en el sistema urbano se representan mediante relaciones matemáticas constantes y, por tanto, el resultado del modelo lo determina el sistema de ecuaciones. A pesar de los numerosos intentos de crear modelos estocásticos que incorporen elementos probabilísticos, la mayoría no son de carácter operativo sino teórico. Los MOU son exploratorios porque no sólo describen el sistema urbano sino que pueden generar escenarios probables y permiten anticipar los efectos de diversas políticas y eventos. Son estáticos porque generan resultados discretos para momentos específicos.

A pesar de su utilidad, los modelos cuantitativos de planeación no deberían utilizarse sin entender sus fundamentos conceptuales: no son "recetas", sino argumentos teóricos expresados en forma de relaciones cuantitativas que no intentan representar la realidad en su totalidad.<sup>10</sup> Permiten simular de manera sistemática escenarios de planeación a partir de supuestos; identifican los grupos de población y los lugares que se benefician o perjudican, en cada escenario, y facilitan la evaluación de decisiones pasadas y futuras de localización con bases analíticas claras.<sup>11</sup>

En años recientes, se ha revalorado el uso de modelos operativos, se han replanteado sus objetivos y moderado sus expectativas. En otras palabras, los planificadores contemporáneos ya no consideran a los modelos cuantitativos como "instrumentos mágicos", sino como herramientas con permanente necesidad de insumos y soporte teórico.<sup>12</sup>

Policy in the City", *Supplementary Report 821*, Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, Reino Unido, 1984; "The Application of the LILT Model to Dortmund", *Contractor Report 250*, Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, 1991, y "The Application of the LILT Model to Tokyo", *Contractor Report 251*, Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, 1991. Ejemplos de modelos teóricos serían los que se exponen en A. Wilson y R.J. Bennet, *Mathematical Methods in Human Geography and Planning*, John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido, 1985; W. Alonso, *Location and Land Use. Toward a General Theory of Land Rent*, Harvard University Press, Cambridge, 1964, y R. Muth, *Urban Economic Problems*, Harper and Row Publishers, Londres, 1975.

9. Véase por ejemplo. M. Batty. *op. cit.*

10. J. Owers y M. Echenique (eds.), *op. cit.*

11. A. Ghosh y G. Rushton (eds.), *Spatial Analysis and Location-allocation Models*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1988; G. Rushton, "Location Theory, Location-allocation Models and Service Developing Planning in the Third World", *Economic Geography*, vol. 64, núm. 2, 1988, pp. 97-120, y D. Smith, *Human Geography: A Welfare Approach*, Edward Arnold, Londres, 1977.

12. C. Garrocho, *Análisis socioespacial de los servicios de salud: accesibilidad, utilización y calidad*. El Colegio Mexiquense-Instituto para el Desarrollo Integral de la Familia- Estado de México, Toluca, México, 1995.

## Breve crónica de los modelos urbanos

La historia de los modelos urbanos está ligada a la de las computadoras y, por tanto, es relativamente breve. Aunque existen antecedentes sencillos de aquéllos desde los años treinta,<sup>13</sup> es hasta la aparición de las computadoras electrónicas cuando fue posible aplicar modelos operativos urbanos.

En los años sesenta se elaboraron algunos, sobre todo en Estados Unidos, para el transporte, pero pronto se advirtió la relación entre éste (conexiones) y los usos del suelo (elementos). A fines de ese decenio se empezaron a construir los primeros modelos que entendían a la ciudad como sistema e intentaban considerar de modo integral tanto los elementos como las interrelaciones.<sup>14</sup> Sin embargo, los modelos de esa época tendían a ser tan grandes y costosos que muchos no se concluyeron y otros nunca pudieron ponerse en operación.

A fines de los sesenta y durante los setenta, el centro del interés académico en los modelos urbanos se trasladó de Estados Unidos al Reino Unido, donde comenzaron a formularse en diversas universidades. Se aprovecharon las experiencias previas para construir modelos de menor tamaño y costo, basados en la estructura conceptual de Lowry, que ofrece la visión integral (sistémica) más clara y operativa del sistema urbano.<sup>15</sup>

Mientras el interés por los modelos urbanos crecía y se esparcía por el mundo,<sup>16</sup> en Estados Unidos empezó a menguar el optimismo sobre la capacidad de la ciencia y la tecnología para resolver los problemas del hombre; en particular, si se consideraba lo que habían logrado, en términos no de desarrollo, sino de destrucción: desde los efectos de la bomba atómica y la guerra de Corea hasta el napalm en Vietnam. La ciencia y la tecnología habían colocado un hombre en la luna, pero poco o nada habían reducido la pobreza, el hambre y la enfermedad. Este entorno en el que se cuestionaba el papel social de la ciencia y, sobre todo, de la tecnología, favoreció la reacción en contra de los modelos operativos urbanos, manifiesta en el influyente artículo de Douglas Lee en el que anunciaba la muerte de éstos.<sup>17</sup>

13. W.J. Reilly, *The Law of the Retail Gravitation*, Knickerbrocker, Nueva York, 1931.

14. B. Harris (ed.), "Urban Development Models: New Tools for Planning", *Journal of the American Institute of Planners*, núm. 31, 1965, pp. 90-183; D. Hill, "A Growth Allocation Model for the Boston Region", *Journal of the American Institute of Planners*, núm. 31, 1965, pp. 111-120; J.D. Herbert y B.H. Stevens, "A Model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas", *Journal of Regional Science*, núm. 2, 1960, pp. 21-36, y F.S. Chapin y S.F. Weiss, "A Probabilistic Model of Residential Growth", *Transportation Research*, núm. 2, pp. 375-390.

15. I. S. Lowry, *A Model of Metropolis*, RAND Corporation, Santa Mónica, California, 1964, y M. Batty, "A Chronicle of Scientific Planning: the Anglo-American Modeling Experience", *Journal of the American Planning Association*, vol. 60, núm. 1, invierno de 1994.

16. Es probable que el poco interés que los MOU despiertan en México se deba a que el nacimiento (como actividad profesional) de la planeación urbana y regional en el país (principios de los años setenta) coincide con el surgimiento de la corriente radical del análisis urbano y regional, una de las más influyentes e importantes en los años recientes, representada sobre todo por el deslumbrante libro de David Harve, *Social Justice and the City*, 1993.

17. D. Lee. "Requiem for Large-scale Models", *Journal of the American Institute of Planners*, núm. 39, 1973, pp. 163-178.

## Réquiem y resurrección de los modelos urbanos de gran escala

Lee escribió su artículo en un momento en que los modelos urbanos eran muy cuestionados en Estados Unidos. Había pocos en activo y sus resultados estaban muy lejos de lo esperado.<sup>18</sup>

Los argumentos más notorios fueron los relacionados con los llamados “siete pecados capitales” de los modelos urbanos de gran escala: *i*) hipercomprensividad (la pretensión de simular la totalidad de sistemas demasiado complejos en un solo modelo), *ii*) generalidad (los resultados eran poco finos y desagregados), *iii*) insaciabilidad (la enorme cantidad de datos que requieren los modelos), *iv*) incompatibilidad (la falta de conexión entre los supuestos de los modelos y la realidad), *v*) complejidad (los modelos son tan complicados que no son bien entendidos por la comunidad y generan demasiados errores internos), *vi*) mecanicidad (la naturaleza iterativa de los modelos produce errores indetectables), y *vii*) incosteabilidad (los modelos requerían enormes sumas de dinero para su operación).

Finalmente Lee sugiere cuatro características que deben cumplir los modelos urbanos: *i*) transparencia (los modelos deben ser inteligibles para los usuarios), *ii*) solidez conceptual (estar fundamentados en una base teórica firme), *iii*) claridad de límites (no pretender hacer más de lo que el modelo puede hacer), y *iv*) simplicidad (los modelos simples, económicos y fáciles de usar siempre serán más útiles en la planeación y el análisis urbano que los complejos, costosos y difíciles de manejar).

No obstante la agudeza de los argumentos de Lee, su afirmación de que “los modelos, como los dinosaurios, se colapsaron en lugar de evolucionar”, no parece exacta. En la actualidad se siguen elaborando modelos operativos urbanos.<sup>19</sup>

Los creadores de modelos han aprendido de la historia y han tratado de salvar a los suyos de los siete pecados capitales de Lee. En la actualidad, éstos son mucho menos ambiciosos y comprensivos. Las bases de datos que a Lee le parecían demasiado grandes son ya elementos rutinarios y en medio magnético se utilizan en casi cualquier centro de investigación.

La complejidad y mecanicidad operativa de los modelos son ya cosa del pasado. Los nuevos lenguajes y algoritmos permiten programas computacionales integrados mucho más eficientes, y la generalidad de los resultados se ha abatido gracias a nuevos desarrollos teóricos en los modelos y a la disponibilidad de máquinas más poderosas que permiten desagregar las estimaciones.

Por su parte, la incompatibilidad entre la teoría y la realidad es ahora mucho menor que en los tiempos de Lee debido a los avances en la teoría urbana, específicamente en la de interacción espacial, en la integración de modelos de ésta con los de carácter económico, en la interpretación conductista de los resultados de los modelos y en la teoría de toma de decisiones.<sup>20</sup>

18. R. Klosterman, “Large-scale Urban Models: Retrospect and Prospect”, *Journal of the American Planning Association*, vol. 60, núm. 1, invierno de 1994, pp. 3-6.

19. M. Batty, “A Chronicle of Scientific...”, *op. cit.*, y M. Wegener, “Operational Urban Models: State of the Art”, *Journal of the American Planning Association*, vol. 60, núm. 1, invierno de 1994, pp. 17-29.

20. J. de D. Ortúzar y L.G. Willumsen, *Modelling Transport*, John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido, 1994.

Finalmente, el costo de los modelos se ha abatido de modo significativo.<sup>21</sup> Ha habido cambios notables en el mundo de la información. Las costosísimas *mainframes* de los setenta se han remplazado por más de 60 millones de computadoras personales en todo el mundo. Éstas facilitan el acceso a grandes bancos de información, trabajan con mucha mayor rapidez y la calidad de sus gráficas es superior a la que se tenía hace 20 años. Casi todos los investigadores disponen de computadoras personales muy poderosas (algo impensable en 1973) y los costos de éstas disminuyen día con día. Junto al avance en el equipo se han registrado logros sorprendentes en el *software* de bajo costo (lenguajes, hojas de cálculo, sistemas de información geográfica), que constituyen herramientas muy poderosas y accesibles.

Los avances teóricos, metodológicos y en computación de las últimas dos décadas permiten a los planificadores representar con mayor realismo algunos aspectos del sistema urbano. Esto, además de la mayor modestia de los análisis basados en modelos urbanos, ha generado un interés renovado en esta disciplina situada entre la ciencia y el arte.<sup>22</sup>

### EL SIPLAM: ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

El principal antecedente de los MOU es el modelo de Lowry.<sup>23</sup> Éste se formuló para la región de Pittsburgh y consiste en una serie de 12 ecuaciones que se utiliza para derivar la localización de la población y el empleo (industrial, de comercio y de servicios) en zonas urbanas.

El modelo de Lowry lo reformuló Garin quien integró explícitamente las teorías de interacción espacial y de base económica.<sup>24</sup> Este modelo (Garin-Lowry) dio el sustento para otros posteriores: el metropolitano de Pittsburgh (Tomm), los de usos del suelo para San Francisco BASS y PLUM, los de Santa Clara, Hawai y Vancouver,<sup>25</sup> el paquete de modelos integrados de transporte y usos del suelo (ITLUP) usado en Filadelfia, Seattle, Houston y Washington en la década de los ochenta,<sup>26</sup> el modelo MEPLAN desarrollado en el Reino Unido y en constante perfeccionamiento desde entonces a la fecha,<sup>27</sup> el paquete LILT usado en la planeación de la región de Leeds en ese mismo país<sup>28</sup> el modelo desa-

21. Cuando se habla a la ligera del costo de los modelos habría que preguntarse también cuál es el costo de la planeación sin éstos.

22. M. Batty, “Urban Models in the Planning Process”, en D.T. Herbert y R.J. Johnston (eds.), *Geography and the Urban Environment: Progress in Research and Applications*, vol. 1, John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido, 1978. Muestras del renovado interés en los MOU son los números especiales de *Journal of the American Planning Association*, invierno de 1994; y *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21, núm. 5, 1994.

23. I.S. Lowry, *op. cit.*

24. R. A. Garin, “A Matrix Formulation of the Lowry Model for Intra-metropolitan Activity Location”, *Journal of the American Institute of Planners*, núm. 32, 1966, pp. 361-364.

25. W. Goldner, S.R. Rosenthal y J.R. Meredith, *Projective Land Use Model (PLUM): Theory and Application*, Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley, 1979.

26. S. H. Putman, *op. cit.*

27. M. Echenique, D. Crowther y W. Lindsay, “A Spatial Model of Urban Stock and Activity”, *Regional Studies*, núm. 3, 1969, pp. 281-

rollado por Wegener para la región de Dortmund en Alemania,<sup>29</sup> el paquete de modelos desarrollado por De la Barra para la planeación de varias ciudades de Sudamérica y otros que registra la literatura reciente.<sup>30</sup>

### Características conceptuales y formales

El Siplam es un modelo tipo Garin-Lowry.<sup>31</sup> Éste consiste básicamente en dos modelos de interacción espacial conectados por un mecanismo de base económica. Uno distribuye la población en el territorio y el otro el empleo de los sectores no básicos o cuya localización depende de la que tenga el mercado local.<sup>32</sup> El modelo asume que el sistema urbano puede describirse con base en sus principales componentes: población, empleo y la interacción funcional y espacial entre ambos.

Con una distribución inicial del empleo básico, el modelo puede determinar la más probable de la población y el empleo no básico en una ciudad o región. Este empleo se disemina conforme un modelo de localización residencial (restringido en el origen), que se expresa de la siguiente manera:

$$T_{ij} = A_i E_i H_j \exp(-bC_{ij})$$

donde

$$A_i = [\text{sumatoria en } j H_j \exp(-bC_{ij})]^{-1}$$

312; "A Structural Comparison of Three Generations of New Towns", en L. Martin y L. March (eds.), *Urban Space and Structures*, Cambridge University Press, 1972, pp. 219-259, y J. Owers y M. Echenique (eds.), *op. cit.*

28. R. Macket, "The Leeds Integrated Land Use-transport Model (LILT)", *Supplementary Report 805*, Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, Reino Unido, 1983; "The Impact...", *op. cit.*; "The Application of the LILT Model to Dortmund", *op. cit.*, y "The Application of the LILT Model to Tokio", *op. cit.*

29. M. Wegener, "Integrated Forecasting Models of Urban and Regional Systems", *London Papers in Regional Science*, núm. 15, Integrated Analysis of Regional Systems, 1986, pp. 9-14.

30. De la Barra, *op. cit.* Excelentes revisiones se presentan en J. Berechman y K.A. Small, "Research Policy and Review 25. Modeling Land Use and Transportation: An Interpretative Review for Growth Areas", *Environment and Planning A*, vol. 20, 1988, pp. 1 283-1 422. y evaluaciones de MOU en F. V. Webster, P. Bly y N. Paulley, *Land-Use Transport Interaction: Policies and Models*, Avebury, Aldershot, Hants, Países Bajos, 1988.

31. El modelo de Garin-Lowry se explica con detalle en D. Foot, *Operational Urban Models: An Introduction*, Methuen, Londres, 1981; N. Oppenheim, *Applied Models in Urban and Regional Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 1980, y M.J. Webber, *Explanation, Prediction and Planning: the Lowry Model*, Pion Limited, Londres, 1984.

32. Massey ha sugerido modificaciones conceptuales a los razonamientos de base económica, para distinguir entre empleo básico (para el crecimiento urbano y regional) y no básico (o de servicios) en el marco operativo del modelo de Lowry. Estas modificaciones implican considerar como empleo no básico el orientado al consumo final local y cuya localización está ligada a la del mercado local (el comercio al menudeo sería el ejemplo más claro) y contabilizar al resto del empleo como básico. Véase D. Massey, "The Basic Service Categorisation in Planning", *Regional Studies*, núm. 7, 1973, pp. 1-15.

Por tanto,  $T_{ij}$  es el número de trabajadores que laboran en la región  $i$  pero que viven en la región  $j$  (es precisamente lo que distribuye el modelo),  $H_j$  es un factor de atracción de la zona  $j$  (por ejemplo, el valor del suelo, el estatus de la zona),  $C_{ij}$  es el costo de viajar de la zona  $i$  a la zona  $j$ , y  $b$  es un parámetro de la función de distancia (fricción de la distancia) que se determina por calibración.

La población que genera el empleo básico (distribuido por el modelo) en cada zona de la ciudad se calcula multiplicando el número de trabajadores básicos por la tasa de dependencia (o multiplicador de empleo básico). Esta población requiere servicios y comercios y, por tanto, cabe esperar que se generen empleos dependientes del mercado interno en estos sectores. La localización de éstos depende de la del mercado local (población); es decir, se trata de empleos no básicos. Así, el siguiente paso es distribuir la población entre los posibles centros de servicios mediante otro modelo de interacción espacial, pero en éste el destino está restringido. Este modelo es muy similar al anterior y se expresa de la siguiente manera:

$$S_{ij} = B_j P_j F_i \exp(-dC_{ij})$$

donde

$$B_j = [\text{sumatoria en } i F_i \exp(-dC_{ij})]^{-1}$$

En este caso,  $P_j$  es la distribución de la población generada por el modelo de localización residencial;  $S_{ij}$  es el flujo de personas de la zona residencial  $j$  al centro de servicios  $i$ ;  $F_i$  es el factor de atracción del centro de servicios de la zona  $i$  (por ejemplo, el número de negocios);  $C_{ij}$  es el costo de viajar de la zona residencial  $i$  al centro de servicios en la zona  $j$ , y  $d$  es el parámetro de la función de distancia que se determina por calibración. Para calcular la cantidad de empleos no básicos que se requieren para atender las demandas de la población en cada zona, se multiplica ésta por la tasa de dependencia de los empleos no básicos respecto a la población (equivalente al cociente empleo no básico/población).

Los datos de empleo no básico y población se toman de fuentes documentales y son parte de los insumos originales del modelo. Una vez que se ubica el empleo no básico termina la primera iteración del modelo.

Ya que los trabajadores no básicos también tienen dependientes, la segunda iteración distribuye primero los trabajadores no básicos entre las zonas residenciales para luego calcular la población que depende de éstos y que reside en cada zona. Se utiliza el modelo de localización residencial explicado arriba (primer modelo de interacción espacial), pero en vez de la variable empleo básico se utiliza el no básico calculado al final de la primera iteración del modelo. A su vez, esta población dependiente requiere de ciertos bienes y servicios, por lo que se utiliza el modelo de localización de empleo no básico (el modelo de interacción espacial restringido en el destino) para asignar el empleo no básico. Éste sería el final de la segunda iteración. Los resultados de ésta son los insumos de la tercera, y los de ésta serán los de la cuarta y así sucesivamente, hasta que los incrementos de población y empleo no básico dejen de ser significativos.

De lo anterior se desprenden varias preguntas de investigación relacionadas con el modelo que éste puede ayudar a esclari-

recer, entre otras: ¿cuáles son los sectores básicos y no básicos de la economía?; ¿cuáles son los factores que atraen población a cada zona?, es decir, ¿cómo se determinan los índices de atractivo de cada zona?; ¿cómo influye la distancia en la distribución espacial de las actividades?

El Siplam cuenta con dos rutinas de calibración que permiten usarlo con fines exploratorios y no sólo descriptivos. La primera se basa en el método de coeficiente de determinación que hace más eficiente y precisa la definición de los valores de los parámetros de las funciones de distribución de población y empleo.<sup>33</sup> La segunda calibración se fundamenta en el método estructural-polinomial y otorga dos ventajas importantes.<sup>34</sup> Por un lado, que se impongan límites al crecimiento de población o empleo en zonas seleccionadas (con importantes aplicaciones para explorar ciertos escenarios de planeación) y, por el otro, permite ajustar los índices de atracción definidos como insumos del modelo de tal manera que se simule perfectamente (hasta con un cienmilésimo de error) la distribución real de la población y el empleo no básico.

Estos atractores óptimos se pueden expresar de la siguiente manera:

$$W_o = W_r \cdot f$$

donde

$W_o$  = atractor óptimo calculado por el Siplam.

$W_r$  = atractor definido *ex ante* como insumo del Siplam. Este atractor se define en función del análisis y de las hipótesis de estudio.

$f$  = factor calculado por el Siplam que afecta el índice de atracción definido *ex ante* y que permite al modelo un ajuste perfecto entre la distribución real y la calculada del empleo no básico y la población.

La interpretación de los factores  $f$  es muy interesante, porque representan la influencia de todas las variables no consideradas en el análisis y que afectan (de forma positiva o negativa) la atracción de cada zona y, por tanto, la distribución de la población y el empleo no básico. Por tanto, si:

$f = 1$  La relación de las variables que integran el índice de atracción y el acceso al empleo básico, con población y empleo no básico es la máxima posible en la zona en cuestión.

$f > 1$  Significa que hay otras variables, además de las consideradas en el índice de atracción y la accesibilidad al empleo básico, que animan a la población a ubicarse en la zona en particular.

$f < 1$  Entraña que hay otras variables que contrarrestan el poder de atracción (las ventajas de la cercanía) del empleo básico y la influencia de las variables consideradas en el índice de atracción.

Una vez que se definen los nuevos atractores y los factores  $f$ , se podrían hacer dos análisis básicos. Uno de correlación múltiple para identificar las variables relacionadas con el factor

$f$  y descubrir sus componentes más importantes (lo que sería de gran utilidad para entender la estructura urbana y para simular los efectos de diversas políticas de planeación) y otro en el que el factor  $f$  permanece constante y sólo se modifican las variables que componen el índice de atracción con el fin de explorar el efecto de sus cambios en la distribución de la población y el empleo no básico. Esto, en términos estadísticos, equivale a alterar algunas variables de un modelo de correlación múltiple con el fin de estimar su efecto en la variable dependiente (en este caso, la distribución de la población y el empleo en servicios).

### El Siplam: aspectos técnicos

Para el programa de computadora con el que se instrumenta el modelo se tuvieron en cuenta varios aspectos: en primer lugar, debería operar en una computadora personal; segundo, ser de fácil uso, y como tercer elemento, quizás el más importante, interactuar con un sistema de información geográfica (SIG) a fin de disponer de una herramienta de despliegue y análisis para mapas, tablas y gráficas de los datos de entrada y salida del modelo.

Como sistema de este tipo se eligió MapInfo, por su compatibilidad con Windows, su capacidad para importar y exportar datos en diversos formatos y por la posibilidad de crear aplicaciones de su propio lenguaje de programación, MapBasic. No obstante, en virtud de que éste no es adecuado para aplicaciones de intenso proceso matemático como lo requiere el Siplam, se recurrió a construir el modelo en el lenguaje C++, que ofrece un gran control sobre el algoritmo, un código ejecutable eficiente y la posibilidad de usar la programación orientada a objetos, muy útil para el manejo de matrices, vectores y del entorno Windows.

El desempeño del programa es razonablemente bueno, pues se optimizó para un tiempo de ejecución mínimo y un manejo de memoria eficiente. En términos prácticos, los tiempos de ejecución son muy variables pues dependen de la combinación inicial de los insumos del modelo, particularmente del número de zonas con que se trabaja.

### LAS CONSECUENCIAS DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL EN LA ESTRUCTURA URBANA DE LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA

Desde hace algunos años, la SCT estudia la posibilidad de descentralizar los servicios del Aeropuerto Benito Juárez de la Ciudad de México y configurar el Sistema Aeroportuario Mexicano (SAM). Una de las principales opciones de descentralización es ampliar el aeropuerto de Toluca y convertirlo en internacional (AIT). Esta alternativa parece tan probable que el Plan Regional Metropolitano de Toluca (PRMT) le dedica varios apartados y recomendaciones: "Es necesario prever los efectos urbanos consecuencia del incremento de la actividad aeroportuaria en la ciudad de Toluca, ya que de cumplirse las estrategias y estimaciones planteadas en los documentos de referencia del Sistema Aeroportuario Mexicano, el AIT se convertiría en el

33. S.H. Putman, *op. cit.*

34. D. Foot, *Urban Models...*, *op. cit.*

M

A

P

A

1

## ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA: ÁREA DE ESTUDIO



mediano plazo en el más importante por el número de pasajeros que moverá, y es muy posible que por el volumen de carga asociada a los vuelos de pasajeros, también lo sea en cuanto al manejo de carga aérea [...] En este sentido, es fundamental identificar y evaluar los impactos urbanos y la demanda de servicios vinculados con el desarrollo aeroportuario.”<sup>35</sup>

Con el nuevo AIT se generarían 8 000 empleos directos, de los cuales 60% serán de cierta especialización y se cubrirían con personal procedente del Distrito Federal.<sup>36</sup> Los 5 000 empleos directos generados en el área provocarán, seguramente, cambios importantes en la estructura de la zona metropolitana de Toluca (ZMT). Tan sólo el incremento de población, si tomamos la tasa de dependencia en la ZMT, sería de alrededor de 300 000 habitantes.

35. “Plan Regional Metropolitano de Toluca”, *Gaceta de Gobierno del Estado de México*, t. CLV, núm. 52, Toluca, 18 de marzo de 1993, pp. 21 y 23.

36. Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Estado de México, “Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Toluca Lic. Adolfo López Mateos”, mimeo., 1993.

En los siguientes párrafos se describen algunos de los cambios más probables en la estructura metropolitana de Toluca derivados de la creación del AIT, particularmente en materia de distribución de población y empleo, en el contexto del ámbito del Plan Regional Metropolitano de Toluca (PRMT), que es el más reciente documento de planeación urbana para la ZMT.

### La zona de estudio y algunos aspectos de política urbana

Jurídicamente, la ZMT se constituye de siete municipios, aunque sólo dos (Toluca y Metepec) concentran la mayoría de la población y las actividades (véase el mapa 1)<sup>37</sup>. La ZMT ha tenido un rápido crecimiento demográfico en los últimos años, con una tasa anual de 3.62% de 1980 a 1990. Se calcula que la población metropolitana es de alrededor de 850 000 habitantes.<sup>38</sup>

37. Lerma, Metepec, Ocoyoacac, San Mateo Atenco, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. “Plan Regional...”, *op. cit.*

38. *Ibid.*

Las actividades predominantes en la ZMT son de carácter industrial, y se localizan sobre todo en la zona industrial del municipio de Lerma, al este de Toluca. Éstas son el motor de la economía de la ZMT, y el PRMT propone una política de consolidación de las zonas industriales.<sup>39</sup>

Las actividades comerciales y de servicios son importantes también y dan a la ZMT su carácter de centro articulador regional.<sup>40</sup> No obstante, la dotación de actividades comerciales y de servicios especializados es baja debido, sobre todo, a la cercanía de la Ciudad de México (a 50 km de Toluca). A pesar de esto, el crecimiento reciente de la ZMT ha generado una estructura urbana polinuclear que contrasta con la Toluca monocéntrica de hace diez años. Ello es congruente con el propósito del PRMT de animar el surgimiento de centros de comercio y servicios accesibles a la población; en otras palabras, no regular su localización y permitirles situarse en donde maximicen su cercanía al mercado local.<sup>41</sup> Esta política la podríamos llamar de libre localización de centros de comercio y servicios.

La metropolización de Toluca ha sido muy rápida y ha seguido una tendencia de crecimiento lineal sobre las principales vialidades para luego, en una segunda etapa, adoptar un proceso de crecimiento concéntrico que avanza hacia el sur. Sin embargo, el PRMT plantea que el crecimiento metropolitano "deberá darse en las zonas en las cuales la dotación de servicios públicos es más económica y accesible, en particular el abastecimiento de agua potable. Esta situación evidencia las ventajas de las tierras ubicadas al norte de la ciudad, lo que además ayudará a preservar las áreas agrícolas al sur de la ZMT".<sup>42</sup>

Se trata, pues, de una política de orientación del crecimiento metropolitano.

De acuerdo con el PRMT dirigir el crecimiento metropolitano hacia el norte no es suficiente, sino que es necesario "disminuir drásticamente las densidades habitacionales de los nuevos desarrollos de vivienda", es decir, aplicar una política de baja densidad de población.

Las cuatro políticas mencionadas (de consolidación, libre localización, orientación y densificación) son relevantes en este trabajo, pues constituyen restricciones de planeación para explorar el efecto del AIT en la estructura metropolitana de Toluca y se relacionan con el diseño conceptual y operativo del Siplam.<sup>43</sup>

## Los datos y las fuentes de información

Las capacidades del Siplam para realizar análisis espaciales desagregados permitieron trabajar la ZMT por áreas geoesta-

39. *Ibid.*, p. 21.

40. C. Garrocho, *Estructura funcional del sistema de asentamientos del Estado de México*, Serie Cuadernos de Trabajo, El Colegio Mexiquense, Toluca, México, 1988.

41. "Plan Regional...", *op. cit.*, p. 23.

42. *Ibid.*, p. 20.

43. El PRMT plantea también diversas recomendaciones relacionadas con el sistema vial, que por ser muy puntuales de momento no pueden incorporarse al Siplam, pero que en la siguiente etapa de éste podrá hacerse (véase la agenda de investigación al final del artículo).

dísticas básicas (AGEB), para lo cual se consideraron casi 200 de éstas.

Los datos de población están disponibles en disco compacto<sup>44</sup> y el proceso de ajuste al formato que requiere el Siplam es relativamente sencillo, rápido y de bajo riesgo (expuesto a pocas probabilidades de error de captura), dado que implica manipulaciones simples de bases de datos.

La cartografía de la zona de estudio se digitalizó directamente de mapas en papel del INEGI. No se utilizaron en medio magnético porque presentan problemas de escala que distorsionan los cálculos que involucran variables espaciales (distancias intra e interzonales, áreas, densidades, etc.).

Una vez digitalizado el mapa de la ZMT se calculó automáticamente la matriz de distancias mínimas inter e intrazonales. Sin el apoyo de herramientas automatizadas, constituir la base de datos de un sistema espacial que considere casi 200 unidades implicaría enormes dificultades. La sola matriz de distancias mínimas consta de casi 20 000 celdas (lo que implicaría 20 000 mediciones de distancias). Sin embargo, gracias a que el Siplam trabaja en un ambiente SIG, la construcción de la matriz tardó menos de hora y media.<sup>45</sup>

La mayoría de los datos no requirió análisis preliminar, salvo los de costos de transporte entre las zonas y la diferencia entre empleo básico y no básico. Ya que se carecía de información sobre costos de transporte, se utilizó como variable *proxy* la distancia lineal entre cada par de zonas, lo que es un recurso común como se consigna en la literatura.<sup>46</sup> Aun así, la distancia lineal no refleja con exactitud la accesibilidad de cada zona, debido a que no se consideran los costos de congestión asociados a las características específicas de las vialidades y el sistema de transporte

Por lo que respecta a la distinción entre el empleo básico y el no básico, el problema es más complejo. Para este ejercicio se aceptó la recomendación de Massey y se clasificó como empleo no básico el orientado al consumo final y cuya ubicación depende de la localización del mercado (población). El resto se tomó como empleo básico. Esto es discutible si se considera la teoría de base económica, pero es lo más conveniente para efectos de la asignación espacial de las actividades.<sup>47</sup> Por la fuente de información empleada, se consideró como empleo básico el del sector secundario y como no básico el del terciario.

Finalmente, como variable de atracción de la población se recurrió al número de habitantes en cada zona relativizada por el suelo disponible, y en el caso del empleo en el sector terciario se utilizó la población y el empleo en comercio y servicios.

44. INEGI, *Áreas metropolitanas*, disco compacto, México, 1991, y *Censos Económicos 1994: resultados oportunos*, disco compacto, México, 1994.

45. La información adicional sobre lineamientos de planeación para la ZMT se tomó del PRMT y se consultaron diversos mapas y fotografías aéreas producidas por el INEGI y otras instituciones, para restringir el crecimiento en ciertas zonas de la ZMT por razones topográficas, de presencia de recursos hidráulicos, legales (reservas ecológicas) y otras, y para definir el suelo disponible efectivamente para el crecimiento metropolitano.

46. Véase, por ejemplo, M. Batty, *Urban Modelling...*, *op. cit.*

47. En especial cuando se estudia la repercusión de incrementos súbitos y masivos de empleo, como en el caso de *new towns* y aeropuertos. Véase D. Massey, *op. cit.*, p. 10.



## Metodología de exploración de escenarios

La metodología consta de cuatro etapas: *i*) calibrar el Siplam para que reproduzca con exactitud razonable la situación *ex ante*; *ii*) considerar el incremento en el empleo básico (el que no depende del mercado local) generado por el AIT; *iii*) simular el efecto del empleo del AIT en la distribución de la población y el empleo en la ZMT en un ambiente no sujeto a las restricciones del PRMT (es decir, se supone que éste fracasa); *iv*) efectuar la simulación anterior pero en las condiciones consignadas en el PRMT (es decir, se supone que tiene éxito), y *v*) discutir las principales implicaciones del estudio de los escenarios.

### RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

El ejercicio comienza con la calibración del Siplam. Se considera que el modelo está calibrado cuando sus resultados tienen semejanza con la realidad. En este experimento se consideró aceptable una diferencia promedio entre lo observado y lo calculado menor o igual a 0.003 por ciento.<sup>48</sup>

El Siplam cuenta con un mecanismo de calibración primaria, para encontrar el valor de los parámetros de la fricción de la distancia que coincida mejor con la distribución real de la población y el empleo, y otro de calibración secundaria, para conocer los valores de los factores *f* (que afectan la atraktividad de cada zona) que mejor ajusten también la distribución observada de la población y el empleo. En virtud del carácter del PRMT, en los párrafos siguientes se destacan los resultados relacionados con la distribución de población.

### Procesos de calibración

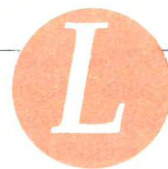
#### Calibración primaria

Los resultados de la calibración primaria arrojaron un valor de 1.24 para el parámetro *b* y de 1.18 para el parámetro *d*. Sin embargo, ninguno de los dos permitió un ajuste aceptable entre la distribución real de la población y el empleo en la ZMT y la calculada por el Siplam. Destacan algunas zonas al centro y al oeste de la ZMT con sobreasignaciones de población y otras al este y al norte en la situación opuesta. En el centro de la ZMT más poblada y consolidada, los problemas de ajuste son menores. De cualquier manera, los resultados de la calibración primaria no son satisfactorios. De ello se infiere que hay variables importantes que influyen la localización de la población, aparte de la accesibilidad de cada zona al empleo básico.

#### Calibración secundaria

Las variables de que se compone el índice de atraktividad del Siplam para el ejercicio de simulación son la población residente

48. Es decir, por cada asignación de 1 000 habitantes, el máximo error aceptable entre lo calculado y lo observado es de tres.



Los 5 000 empleos directos generados en el área provocarán cambios importantes en la estructura de la zona metropolitana de Toluca. Tan sólo el incremento de población sería de alrededor de 300 000 habitantes

en cada zona y el suelo disponible para el crecimiento urbano. Es evidente que no son las únicas variables que influyen en la ubicación residencial de la población en el espacio urbano y que intervienen muchas otras: precio del suelo, estatus o prestigio de la zona, cercanía a los lugares de esparcimiento, seguridad pública y disponibilidad de servicios, por mencionar algunas; pero no fue posible recabar información sobre éstas.

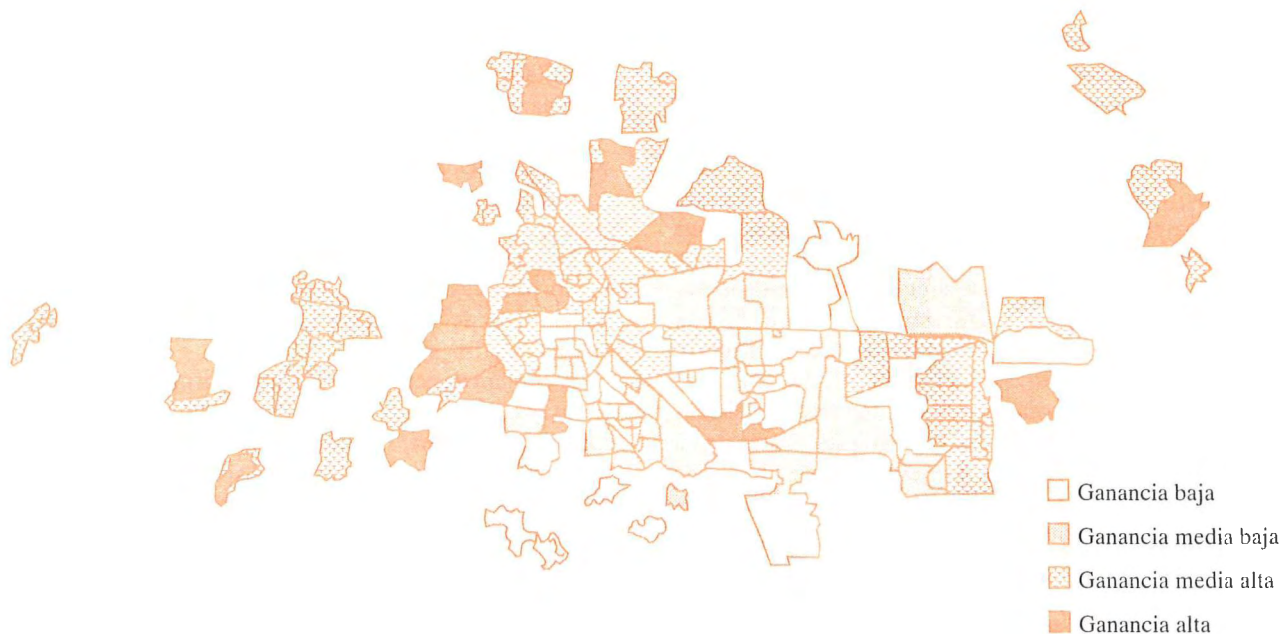
También se debe decir que no bastaría con identificar o cuantificar objetivamente las principales variables que influyen en la localización residencial, sino que sería necesario determinar cómo las percibe la población. Esto justifica la calibración secundaria, que consiste en encontrar los valores óptimos de los factores *f* que representan la percepción subjetiva de todas las variables no consideradas en el análisis.

El mecanismo de calibración secundaria logró una semejanza aceptable entre la distribución de la población observada en la realidad y la calculada por el Siplam. El error promedio en la asignación de la población respecto a la observada es inferior a 0.003%. Se corrigieron las asignaciones en la periferia de la ZMT y se ajustaron finamente las registradas en su parte central.

#### Simulaciones de distribución de población

Se realizaron dos ejercicios de simulación. El primero se podría llamar no restringido, porque no considera las limitaciones de cada zona para alojar más población. El segundo es mucho más realista, porque se incorporan éstas, así como los principales lineamientos de política urbana del PRMT. Este segundo experimento de simulación se podría calificar de restringido.

ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA: SIMULACIÓN RESTRINGIDA DE DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN



*Simulación no restringida*

El ejercicio de simulación restringida puede ser interesante sobre todo para identificar las limitaciones de los modelos urbanos que no permiten restricciones y contrastar sus resultados con uno que sí las admite.

Los resultados del ejercicio no restringido muestran una asignación de población determinada fundamentalmente por la accesibilidad de cada zona al empleo generado por el AIT. La distribución de población del Siplam en la ZMT es más intensa en las inmediaciones del AIT y decrece casi monotónicamente conforme se incrementa la distancia al aeropuerto.

Los resultados son poco realistas, ya que no se establecieron límites al crecimiento demográfico de cada área, lo que significó que el Siplam asignara población de manera simplista, incluso en la zona industrial de Toluca. De estos resultados se infiere que los modelos urbanos, para que sean operativos, deben ser flexibles para aceptar restricciones relacionadas con el entorno físico y normativo, cuando menos.

*Simulación restringida*

El experimento de simulación restringida es mucho más realista. Las principales restricciones fueron la disponibilidad de suelo

para el crecimiento urbano, los usos del suelo autorizados por los organismos de planeación del Estado de México, las reservas territoriales, las limitaciones naturales el crecimiento urbano y las líneas de políticas planteadas en el PRMT, ya reseñadas

Entre éstas destacan las densidades máximas de población permitidas y las restricciones de crecimiento urbano al sur de la ZMT. Las restricciones inhiben el crecimiento en cada área de la ZMT y su capacidad de atracción de población. Por ejemplo, a las zonas al sur de la ZMT se les definió un crecimiento máximo de 5%, salvo algunas excepciones que presentan condiciones más propicias.

Los resultados del experimento de simulación restringida son totalmente distintos de los de la no restringida (véase el mapa 2). La distribución de población casi monotónica, determinada por la accesibilidad de cada zona al empleo generado por el AIT, se reemplaza por una mucho más compleja entre las diferentes áreas de la ZMT que considera la accesibilidad al empleo, la atractividad como lugar de residencia y las restricciones operativas y normativas para absorber más habitantes.

Hay una alta asignación de población en 19 áreas distribuidas en diferentes puntos de la ZMT. Todas cuentan con numerosos habitantes y disponibilidad de servicios, pero además con suficiente suelo para recibir más, lo que las hace muy atractivas para el crecimiento urbano (de acuerdo con los supuestos del experimento).

En cambio, en 24 áreas, situadas predominantemente en el centro, el sur y el este de la ZMT, la asignación de población es baja. Ello se debe a las siguientes razones: en el centro hay poca capacidad para alojar nueva población por la escasa disponibilidad de suelo; en el oriente, éste está ocupado por actividades industriales, y al sur, hay limitaciones normativas de crecimiento impuestas por el PRMT.

Entre ambos extremos hay dos tipos de áreas, según la población. Uno de asignación media alta y otro de media baja. Hay 93 áreas en el primer caso. La mayoría se localiza al norte de la ZMT, región considerada de impulso al crecimiento urbano en el PRMT; al oeste, por su cercanía al empleo generado por el AIT, y al este, rumbo a Zinacantepec, por tener alto potencial de crecimiento de población. Estas áreas cuentan con servicios y sus densidades de población permiten el incremento demográfico. Por su número y por su capacidad de crecimiento (tanto operativo como normativo) tienen particular importancia para la planeación, porque son en las que se manifestaría, en los hechos, el aumento de población en la ZMT derivado del AIT.

Las 54 de asignación media baja están sobre todo en el centro, el sur y el este de la ZMT. Las del centro están cerca de su punto de saturación, las del sur están sujetas a restricciones por el PRMT y las del oeste por la falta de servicios y sitios de esparcimiento; todo ello limita su capacidad de atraer población.

## CONCLUSIONES Y AGENDA DE INVESTIGACIÓN

El Siplam demostró su utilidad incluso frente a problemas con numerosas unidades espaciales. Los tiempos de desempeño fueron razonables y la restricción de capacidad de las unidades espaciales probó ser muy útil para simular escenarios en un ambiente más realista.

Es interesante destacar que la interpretación de los resultados se dificulta cuando el sistema espacial que se modela consta de numerosas unidades. Sin embargo, ya que el Siplam trabaja en ambiente SIG se facilita mucho la interpretación y el análisis de sus resultados. Por un lado, los mapas temáticos permiten una lectura muy rápida de los resultados y, por otro, el mecanismo para acercamientos permite observar detalles inadvertidos en un primer momento.

Los escenarios explorados con el Siplam son muy complejos y se requiere un mayor análisis cualitativo para definir satisfactoriamente sus insumos. Por otro lado, la ZMT es un entorno quizá muy complejo para poner a prueba un modelo operativo urbano. Principalmente por estas razones, pero además por las limitaciones propias de los modelos urbanos, los resultados deben tomarse con cautela.

De los experimentos presentados, se deduce que el Siplam presenta limitaciones importantes y requiere mejoras en, al menos, tres aspectos centrales: *i*) la desagregación de sus resultados, *ii*) la consideración del sistema de vialidad y el transporte urbano-metropolitano, y *iii*) la inclusión de zonas limítrofes.

Respecto al primer punto, sería deseable contar con resultados de población desagregados por el rango de ingreso, cuando menos, lo que permitiría explorar con minuciosidad procesos de invasión y sucesión, simular la evolución urbana con mayor pre-

cisión y aprovechar mejor los resultados del Sistema para la planeación. El segundo punto implica detallar razonablemente el sistema de transporte, ya que en este momento sólo se considera mediante las funciones de distancia y la separación espacial entre las zonas en que se divide el sistema metropolitano.

La opción sería integrar al Siplam un modelo de transporte que abarque cuando menos sus cuatro submodelos básicos (generación, distribución, elección de modo y selección de ruta) y que permita restringir la capacidad de la red de vías de comunicación para incluir en el análisis los costos de congestión.

Finalmente, se requiere considerar en la exploración a las zonas limítrofes que pueden integrarse a los sistemas urbanos (asentamientos cercanos, zonas libres para la expansión urbana, etc.).

Estos requerimientos del Siplam constituyen un apasionante reto de investigación interdisciplinaria. La solución de algunas de estas deficiencias ya está en proceso, pero otras apenas se están analizando.

El Siplam ha permitido examinar en muy poco tiempo aspectos muy complejos, lo que tal vez no hubiera sido posible sin un modelo computarizado de este tipo. Por otro lado, el Siplam es muy práctico y sencillo de usar. Asimismo, sus relaciones funcionales con el SIG facilitaron la representación gráfica de los resultados. Pero además, el Sistema no sólo genera información para la planeación, sino que puede ser instrumento útil para la investigación y el análisis urbano. Por ejemplo, el cálculo de los factores *f* abre toda una línea de investigación porque permite explorar sus relaciones con diversas variables (objetivas y subjetivas) que afectan la localización de la población y el empleo no básico. En este sentido, el Siplam resulta tanto un instrumento práctico orientado a la planeación y al análisis coyuntural como un medio para examinar hipótesis de investigación que permitan entender un poco más, no sólo los modelos, sino a las ciudades, que es lo que finalmente importa.

Aun en su estado actual, el Siplam puede ser útil para anticipar las repercusiones de varias políticas de planeación o de diversos eventos. Por ejemplo, permite simular los efectos de:

1) Políticas económicas respecto a la distribución del empleo básico.

2) Políticas habitacionales relacionadas con el desarrollo o el control de ciertas zonas (redensificaciones, restricciones al crecimiento, etc.).

3) Políticas de redistribución o control (restricciones) del crecimiento de los servicios en ciertas zonas de la ciudad.

4) Políticas de transporte que alteran los costos o los tiempos de éste.

5) Cambios en la accesibilidad en la ciudad, lo que alteraría la fricción de la distancia (parámetros *b* y *d*).

6) Modificaciones en la tasa de participación del empleo femenino, lo que alteraría los valores de los multiplicadores de base económica.

No obstante, no cabe ser demasiado optimistas. El Siplam es sólo un modelo operativo urbano, y como tal representa el sistema urbano de manera muy simplificada. De cualquier manera el Siplam puede auxiliar al investigador a pensar la ciudad de diferentes modos, a generar escenarios urbanos probables y a estimular su imaginación profesional. 