

Un modelo de simulación de los flujos de migración interna de México: aplicación empírica de un modelo de interacción espacial

Carlos Garrocho*

The only model which can replicate reality is reality itself
PETER E. LLOYD Y PETER DICKEN,
Location in Space, 1977

We can never know about the days to come, but we think
about them anyway...
CARLY SIMON, "Anticipation" (canción),
The Best of Carly Simon, 1991

En este artículo se pone a prueba la capacidad de la teoría de interacción espacial para apoyar la construcción de un modelo operativo que simule los flujos de migración interestatal de México. Se presentan los principales elementos conceptuales y operativos del modelo de migración interna de México (MIM), se explican su diseño y proceso de construcción, se analizan los resultados de su calibración, y se realiza un ensayo de simulación. Los resultados del MIM son alentadores y sugieren que los modelos derivados de la teoría de interacción espacial tienen un gran potencial como herramientas que facilitan las tareas de diseño y evaluación ex-ante de políticas migratorias y de distribución espacial de población.

Introducción y objetivos

La migración humana es un fenómeno *socioespacial* por excelencia (Garrocho, 1995), causa y consecuencia de diversos cambios que ocurren en dos ámbitos dialécticamente interdependientes: las estructuras sociales y las relaciones espaciales (Gregory y Urry, 1985).

Las corrientes migratorias definen la composición demográfica y socioeconómica de regiones y ciudades, por lo que es necesario entender su dinámica para avanzar en la comprensión de procesos más

* El Colegio Mexiquense.

Agradezco la labor de Rosario Rogel (Universidad Autónoma del Estado de México) y René Rosas (El Colegio Mexiquense) como auxiliares de investigación, asimismo agradezco el apoyo de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México para la realización de este trabajo.

amplios de desarrollo urbano y regional. En términos más prácticos, quizá el interés en la migración se debe a que la capacidad de los gobiernos para responder: justa y oportunamente a las demandas espacialmente diferenciadas en materia de servicios, empleo y, en general, de recursos y *oportunidades sociales*, depende en gran medida de su habilidad para anticipar las variaciones del comportamiento espacial de la demanda. Es decir, de su capacidad para prever los flujos migratorios y la localización espacial de la población.¹

Tradicionalmente los estudios de migración han definido sus objetivos en función de sus escalas espacial y social. Así, se distinguen tres escalas espaciales básicas para estudiar la migración: internacional, interregional e intraurbana; y tres escalas sociales fundamentales: agregada (*macro*), conductista (*micro*) y de planeación (Clark, 1982). Sin embargo, en los últimos años las líneas que tradicionalmente separaban las distintas corrientes en los estudios de migración se han convertido en conexiones que las unen, dificultando cualquier ejercicio taxonómico y generando análisis migratorios más completos.

Este trabajo se ocupa de la migración interregional y predominantemente agregada. Básicamente persigue dos objetivos y, aunque ambos son de corte académico tienen claras implicaciones pragmáticas orientadas hacia la planeación, formulación y evaluación *ex-ante* de las políticas públicas.

El primer objetivo es probar la capacidad de los modelos de interacción espacial para simular *sistémicamente* los flujos de migración interna de México y generar escenarios migratorios hipotéticos. Es decir, explorar sus posibilidades para apoyar la construcción de un modelo que represente la migración interna mexicana como un sistema espacial interconectado, donde los cambios experimentados en cualquiera de sus elementos (por ejemplo: regiones, estados o ciudades) generen efectos directos e indirectos en el resto y en el patrón de interrelaciones migratorias. Un modelo que, en suma, tenga la capacidad de representar en su *totalidad y simultáneamente*: i) el conjunto de elementos (regiones, estados) con sus atributos relevantes para los procesos migratorios y ii) la compleja red de relaciones entre los elementos (la estructura espacial de los flujos migratorios).

El segundo objetivo consiste en evaluar el modelo migratorio resultante de adoptar la estructura conceptual y operativa de la teoría

¹ Si además consideramos que la población es cada vez *más migrante* (Corona, 1993; Poder Ejecutivo Federal, 1995), aumenta la importancia del tema.

de interacción espacial. Se pone especial atención en la consistencia teórica del modelo, en su rendimiento para simular la migración interna de México, y en el costo, energía y tiempo involucrados en su diseño, construcción, calibración y operación.

El artículo se divide en cinco apartados. En el primero se presentan brevemente las principales estructuras teóricas que sustentan los estudios de migración interna, con el fin de rescatar diversos conceptos y argumentos para construir la plataforma conceptual de un modelo de migración interna de México (MIM). En el segundo se justifica la selección de los modelos de *interacción espacial*, como una alternativa que merece la oportunidad de ponerse a prueba en el contexto mexicano para modelar flujos migratorios interestatales, y se explica el diseño y estructura general de los modelos de interacción espacial. En el apartado tres se examina en detalle el MIM, y en el cuarto se presentan los resultados de su aplicación empírica. Finalmente, en el último apartado se evalúa el MIM, se discuten los resultados del ejercicio de simulación, se presentan algunas conclusiones y se propone una agenda de investigación.

Principales teorías y conceptos: los insumos teóricos de un modelo operativo de migración interna

En esta sección se revisan tres estructuras conceptuales utilizadas en estudios migratorios, que resultan particularmente importantes para los objetivos de este trabajo: la derivada de la economía *neoclásica*, la corriente *conductista* y la perspectiva *institucional*; se concluye reconociendo la complementariedad de los tres enfoques y la importancia de combinarlos coherentemente.

Esta revisión teórica tiene por objeto rescatar diversos conceptos y razonamientos para armar la plataforma conceptual que sostiene –y de la que se deriva– el modelo sistémico de migración interna que se propone en la tercera sección.

El comportamiento migratorio racional: los argumentos de la economía neoclásica

La teoría neoclásica de la movilidad de factores de la producción (capital y trabajo) propone que la fuerza de trabajo –la población traba-

jadora— se desplaza de un lugar a otro en respuesta a las variaciones salariales interregionales. Esta relación *positiva*, en la que el volumen de trabajadores migrantes se incrementa conforme los diferenciales salariales *reales* aumentan, se manifiesta en flujos migratorios originados en regiones con bajos salarios relativos —pero con excedentes de mano de obra—, cuyo destino son regiones demandantes de mano de obra que ofrecen salarios reales superiores (Clark y Gertler, 1983). En estos términos, la movilidad del trabajo responde simplemente a estímulos de oferta y demanda de mano de obra. Con el tiempo se alcanza un estado de equilibrio en el que la fuerza de trabajo se distribuye en el territorio de manera óptima (de acuerdo con las necesidades de oferentes y demandantes): oferta y demanda se corresponden espacialmente y por tanto se minimizan las diferencias salariales interregionales.

Sin embargo, en los supuestos fundamentales del razonamiento neoclásico radican algunas de sus principales debilidades (Clark, 1982). Los supuestos principales son los siguientes: *i*) los trabajadores poseen información *perfecta* acerca de los mercados de trabajo y los salarios reales (lo cual es evidentemente erróneo: Kau y Sirmans, 1977); *ii*) los trabajadores son perfectamente móviles y no enfrentan barreras económicas ni sociales que inhiban su movilidad (lo que se ha puesto en duda desde Ravenstein, 1985); *iii*) la fuerza de trabajo es homogénea en valores, gustos y habilidades (lo que es inexacto aunque sea por la simple y progresiva especialización del trabajo, pero también por las diferencias obvias en términos de raza, educación, sexo y edad: Barsby y Cox, 1975; Clark y White, 1990); *iv*) en el largo plazo se alcanzará un estado de equilibrio entre oferta y demanda de fuerza de trabajo (aunque existen argumentos muy poderosos que proponen exactamente lo contrario; Myrdal, 1957); y *v*) los trabajadores tienden a maximizar su ingreso real y por tanto su comportamiento es estrictamente racional en términos económicos (supuesto que ignora la importancia probada de numerosas variables no económicas que influyen la decisión de migrar: Clark y Ballard, 1980).²

Esta última crítica es particularmente interesante, porque a partir de la evidencia sobre la importancia de numerosas variables *no econó-*

² Para tomar un ejemplo a mano, numerosos habitantes de la ciudad de México emigran y eligen sus destinos por razones de seguridad (basta recordar lo que ocurrió luego del sismo de 1985; Poder Ejecutivo Federal, 1995) o ambientales (Izazola y Marquette, 1994).

micas—por ejemplo la calidad de los servicios públicos (Brown y Gustavus, 1977), el clima (Graves, 1979), la inercia migratoria (Alperovich, *et al.*, 1977), o la calidad de vida (Cebula, 1979), por mencionar sólo algunos— se ha acuñado un término que representa la atractividad percibida de cada destino migratorio para individuos específicos y que incluye más que la simple maximización del salario real. Este concepto ha sido llamado la utilidad del destino (*place utility*; Cadwallader, 1992), y de alguna manera lo retoma Vanzo (1980) para proponer su modelo migratorio de *Capital Humano*. La estructura conceptual de Vanzo se fundamenta en los razonamientos de la economía neoclásica, pero trata de incluir expectativas subjetivas de costos y beneficios que afectan la decisión de migrar.

La integración de percepciones y expectativas individuales caracteriza a otra de las principales estructuras teóricas utilizadas para el análisis de la migración interna: la perspectiva *conductista*.

*La importancia de lo subjetivo en el comportamiento migratorio:
la perspectiva conductista*

La perspectiva conductista como alternativa para explicar las migraciones surge, sobre todo, de la imposibilidad de sostener los supuestos en que descansan algunos postulados migratorios derivados de la economía neoclásica. En especial el que se refiere a la conducta estrictamente *racional-utilitaria* de los migrantes (Golledge y Rushton, 1984).

Lo que propone la corriente conductista es rescatar el hecho de que los individuos a menudo están satisfechos con niveles de ingresos menores a los óptimos (Harris, 1981); que las decisiones, aunque sean racionales, se toman en un ambiente lleno de restricciones e incertidumbre (Alien, 1979); que los individuos simplifican y a menudo distorsionan la realidad (MacKinnon y Rogerson, 1980); y que consideran muchos más factores que la simple maximización del ingreso para definir su comportamiento migratorio (Cadwallader, 1992; Graves y Linneman, 1979; Izazola y Marquette, 1994; Vanzo, 1980).

En este contexto, Kirk (1963) sugiere hacer una distinción entre el entorno *fenomenológico* y el *conductista*. El primero se refiere al entorno físico y objetivo en el que se conducen los individuos; el segundo, en cambio, al entorno mental y abstracto donde el individuo toma sus decisiones que luego se traducen en acciones en el entorno

fenomenológico. Por lo tanto el comportamiento individual se deriva de su percepción del entorno, no de la realidad del entorno (Golledge y Timmermans, 1990; Goodman, 1980). Por esta razón los análisis migratorios apoyados en la corriente conductista se ocupan no sólo de entender la manifestación del fenómeno, sino de comprender el proceso individual de toma de decisiones en contextos sociales y psicológicos específicos (Roseman, 1983).

La corriente conductista, sin embargo, no está libre de críticas. Las variables subjetivas, fundamentales en los análisis de la conducta migratoria, han sido muy difíciles de manejar en la práctica; los resultados de investigación difícilmente se pueden generalizar y, dada su orientación hacia las preferencias individuales, se le ha criticado por ignorar las restricciones sociales en el comportamiento individual (Short, 1978). Tanto la corriente conductista como la que se deriva de la economía neoclásica asumen, en el fondo, el criticado *voluntarismo individual*, que podría relacionarse con el concepto económico de la soberanía del consumidor³ (Pinch, 1985). Sin embargo, el hecho de que el individuo esté inmerso en una estructura de restricciones que influyen sus decisiones, muchas de ellas de carácter institucional, generó una tercera corriente de análisis migratorio llamada, precisamente, perspectiva *institucional*

Las posibilidades y restricciones estructurales del comportamiento migratorio: la perspectiva institucional

La perspectiva institucional enfatiza la influencia de las instituciones públicas y privadas en los patrones migratorios (Flowerdew, 1982), subrayando la interrelación entre las restricciones sociales y espaciales (Pahl, 1975).

Existe evidencia de que la estrategia locacional de las grandes corporaciones —es decir, de los grandes oferentes de empleo— y las acciones espacialmente diferenciadas del sector público —en sus diferentes niveles— influyen en gran medida en la dirección y magnitud de los flujos migratorios interregionales (McKay y Whitelaw, 1977;

³ La idea de la soberanía del consumidor propone que el individuo es el mejor juez de su propio bienestar. Es decir, sabe mejor que nadie lo que más le conviene y actúa en consecuencia. Juicio y acción se desarrollan en un entorno libre de restricciones.

Garrocho, 1992), y por ello también en la dinámica de los sistemas de ciudades (Pred, 1974). No obstante, existen también argumentos que minimizan la capacidad del sector público para influir en los procesos migratorios (De Jong, 1981).

El razonamiento central de la perspectiva institucional se podría sintetizar de la siguiente manera. Los individuos eligen su localización de un menú de opciones altamente restringido por factores individuales, sociales, pero también *institucionales*. Las opciones de desarrollo (empleo, amenidades, servicios) no se distribuyen aleatoriamente en el territorio. El capital (financiero, comercial, industrial, inmobiliario) evita ciertas regiones y privilegia otras, determinando en gran medida la distribución espacial de oportunidades y en consecuencia el lugar donde se localiza (*vive*) la población. El sector público, por su parte –actuando en una intrincada red de inconsistentes intereses sociales–, pone en práctica diversas políticas que afectan de una manera u otra –voluntaria o involuntariamente, coherente o caóticamente, débil o intensamente– la distribución espacial de las oportunidades y, por tanto, la localización tanto del capital como de la población (Gadwallader, 1992).

La corriente institucional propone, acertadamente, considerar la enorme influencia de las instituciones públicas y privadas en los procesos migratorios. No obstante es blanco de algunas críticas. Williams (1978) y Saunders (1979), por ejemplo, consideran que no es verdaderamente una teoría que sirva de apoyo para explicar conceptualmente procesos sociales, sino simplemente una estructura de análisis útil, a lo más, para realizar estudios de caso. La recomendación reiterada en la literatura es relacionar la perspectiva institucional con estructuras teóricas más desarrolladas.

De la revisión conceptual se puede concluir que las corrientes analizadas son complementarias y no están en competencia, y que una mezcla coherente de ellas podría generar más conocimiento y mejores explicaciones de los procesos migratorios.

Teorías, conceptos y escalas sociales

En términos esquemáticos, las perspectivas *macro* se relacionan con estudios cuyo propósito es explicar el comportamiento migratorio agregado, apoyándose en estimaciones y relaciones estadísticas de variables relacionadas con el entorno físico y socioeconómico de la po-

blación (ingreso o desempleo, por ejemplo). En general, la literatura referente a *lo macro* se fundamenta explícita o implícitamente en los argumentos de la economía neoclásica. Por su parte, la perspectiva *mícro* intenta explicar la migración en el contexto del proceso psicológico individual (a veces familiar) de la toma de decisiones y de la selección de estrategias y destinos migratorios. Por tanto, son particularmente importantes conceptos tales como percepciones, evaluaciones individuales, transmisión de información personalizada, valores, aspiraciones y otros que influyen de manera muy importante en el comportamiento migratorio individual y familiar. Ambos se ven afectados, inevitablemente, por el entorno institucional.

La corriente micro se apoya en una *filosofía cognoscitiva* que privilegia el análisis de las percepciones subjetivas de los migrantes respecto a las opciones disponibles y los costos y beneficios de migrar. En cambio, la perspectiva macro es esencialmente *objetiva* y trata de explicar la migración en función de variables medibles (*duras*), sin poner atención en las percepciones subjetivas de los migrantes (White, 1980). Aunque ambas perspectivas han sido parcialmente exitosas (o han fracasado parcialmente) es evidente que una postura metodológica que mezclara coherentemente *lo micro con lo macro* tendría mayores posibilidades de explicar la migración que las que tiene cada perspectiva por sí sola (Golledge, 1980). Sería recomendable, por tanto, una perspectiva analítica que —para ponerlo en términos más sociológicos que demográficos— permitiera explorar con mayor profundidad y detalle la interacción entre la *agencia humana* y la estructura social (Giddens, 1984).⁴

Utilizando los elementos expuestos hasta el momento es posible establecer las principales características que debería tener un modelo operativo de migración interna para México:⁵

a) *Integral* para replicar flujos migratorios agregados, pero rescatando aspectos fundamentales de la perspectiva micro, por ejemplo las percepciones y expectativas de la población, los canales imperfectos de información personalizada y las tendencias históricas del comportamiento colectivo en materia de migración.

⁴ En términos de modelos migratorios se podría decir que la perspectiva macro intenta modelar lo que *debería ser*, mientras que la micro se ocupa de lo que *realmente es*.

⁵ Por modelo operativo se entiende aquel que puede utilizarse en *tareas reales* de planeación, a diferencia de los modelos teóricos desarrollados solamente por razones académicas (Foot, 1981).

b) *Sistémico* para simular globalmente las interrelaciones del sistema migratorio nacional, de tal manera que se puedan evaluar *ex-ante* los efectos directos e indirectos en la red de relaciones migratorias, derivados de cambios en los atributos de uno o varios elementos (cambios hipotéticos producidos por instituciones públicas y/o privadas).

c) *Ecléctico* para lograr mayor solidez conceptual, dado que las teorías sobre migración son complementarias y un pluralismo coherente ofrece más posibilidades que los enfoques ortodoxos inflexibles (Clove, Philo y Sadler, 1991).

d) *Orientado a la planeación*, es decir, integrado por variables estratégicas susceptibles de ser influenciadas por organismos de planeación demográfica, para ser una herramienta útil en el diseño y evaluación *ex-ante* de políticas migratorias.

No obstante, el problema no radica en decir qué hacer, sino en *cómo hacerlo*. En la siguiente sección se justifica la pertinencia de utilizar los argumentos de la teoría de la interacción espacial como una estructura conceptual alternativa para construir un modelo *operativo* que permita simular y generar escenarios de migración interna para México.

Una estructura conceptual alternativa para construir un modelo de simulación de flujos migratorios interregionales: la teoría de la interacción espacial

Los modelos migratorios no son nuevos. Desde hace mucho tiempo los estudios macro se han apoyado en diversos tipos de modelos cuantitativos para examinar estructuras de relaciones entre conjuntos de atributos (variables *independientes*) y flujos migratorios (variables *dependientes*).

Los modelos migratorios más conocidos tienen fines *explicativos, de contabilidad o de simulación*. Los primeros (por ejemplo, modelos causales y sistemas de ecuaciones) involucran complejas estructuras de ecuaciones y diversas técnicas estadísticas (Clark y Ballard, 1980; Greenwood *et al.*, 1981; Cadwallader, 1986); los segundos se apoyan en métodos de contabilidad demográfica con el propósito de realizar estimaciones poblacionales (Rogers, 1980; Wilson y Rees, 1977); y los últimos se fundamentan principalmente en ecuaciones simples y en álgebra matricial para simular flujos migratorios (MacKinnon, 1975; Tobler, 1981; Gordon, 1979; Fotheringham, 1984).

A su vez, los análisis de flujos migratorios interregionales han adoptado dos modelos básicos: uno derivado de razonamientos mar-

kovianos y el otro fundamentado en la teoría de la interacción espacial (Clark, 1982). Ambos son descriptivos más que explicativos, pueden diseñarse en términos de álgebra matricial, han sido ampliamente reportados en la bibliografía sobre el tema, registran avances recientes, son relativamente sencillos de instrumentar y permiten considerar la migración interna en términos de *sistemas* (Woods, 1982).

Sin embargo, los modelos de interacción espacial parecen más flexibles para explorar escenarios de planeación porque involucran un mayor número de variables estratégicas que afectan los flujos migratorios (Fotheringham y O'Kelly, 1989), consideran con mayor refinamiento la estructura espacial de los sistemas migratorios (Fotheringham, 1986a; Ishikawa, 1987) y sus soportes teóricos están más desarrollados (Wilson y Bennett, 1985), lo cual permite obtener interpretaciones más interesantes de los resultados (Fotheringham, 1983b).

Los modelos de interacción espacial

Los modelos de *interacción espacial* (Modinte) son una de las herramientas más utilizadas en la planeación espacial de ciudades y regiones (Foot, 1981; Gosh y Rushton, 1987) no sólo por lo práctica y económica que resulta su utilización, sino por la cantidad de información útil que generan.

Los Modinte se derivaron originalmente de la observación del comportamiento espacial de los consumidores y de razonamientos muy básicos relacionados con la teoría gravitacional de Newton (Reilly, 1931). Sin embargo durante los últimos veinte años han experimentado diversas modificaciones que los han fortalecido operativa y conceptualmente (Wilson, 1970), de tal manera que han resultado útiles para simular diversos tipos de flujos entre unidades espaciales, por ejemplo, flujos de población, información, vehículos o mercancías (véase *v.g.*, Haynes y Fotheringham, 1984; Wilson y Bennett, 1985; Fotheringham y O'Kelly, 1989).

La teoría de la interacción espacial

La teoría de la interacción espacial propone que la magnitud de los flujos (de personas, información, vehículos, etc.) entre unidades es-

paciales se asocia negativamente con el costo de interactuar (medido objetiva o subjetivamente en términos espaciales, económicos, temporales, socioculturales) y positivamente con algunos atributos (características *atractoras*) de cada unidad espacial (Rushton, 1989).⁶

En otras palabras, el costo de interactuar –como quiera que sea definido– funciona como una barrera que limita la interacción entre unidades espaciales,⁷ mientras que los atributos *atractores* favorecen el establecimiento de relaciones de flujos. Por ejemplo, sería razonable suponer que la población tiende a ubicarse en las localidades más comunicadas y en las que ofrecen mejores oportunidades de empleo y desarrollo (en las localidades más atractivas), y deja de lado las localidades más aisladas y las que ofrecen menos oportunidades (Woods, 1982).⁸

Los Modinte sintetizan este razonamiento, pues involucran las principales variables mencionadas: el *costo* que implica la interacción, la *capacidad potencial* de cada unidad espacial para generar –emitir– flujos y el *poder de atracción* de flujos de cada unidad espacial. Los Modinte permiten, por tanto, simular flujos entre unidades espaciales tomando en consideración diversas características que se consideren relevantes para las interrelaciones. Se pueden asumir, además, cambios en esas características en elementos específicos y estimar –global y sistemáticamente– su probable impacto en la totalidad de la estructura de flujos (Fotheringham y O’Kelly, 1989).

⁶ Cabe decir que la capacidad de atracción de cada unidad espacial sólo puede entenderse en relación con la atractividad del resto de las unidades del sistema. Se habla así de una atractividad *relativa*, ya que no tendría sentido hablar simplemente de cambios *absolutos* en los atributos atractores de una unidad espacial, si no se consideran los cambios en los atributos de las demás. Pongamos un ejemplo de una situación más o menos común: incrementos en los atributos atractores de la localidad “x” pueden en realidad representar una disminución de su atractividad si los atributos atractores del resto de las localidades se incrementan en mayor medida. Ésta es una de las consideraciones que hacen necesario adoptar una visión sistémica para modelar los flujos migratorios.

⁷ Por unidad espacial se entiende cualquier elemento del sistema espacial que se esté analizando. Por ejemplo: región, ciudad, área, vecindario, firma, etc. Todo dependerá del tipo y escala *socioespacial* del análisis.

⁸ Es interesante cómo se relaciona este argumento con los postulados básicos de la teoría migratoria neoclásica y con la de Capital Humano de Vanzo (1980): El individuo migrará si los beneficios de hacerlo superan los costos (tangibles e intangibles), y escogerá como destino el lugar que le ofrezca las mejores expectativas. Véase la primera sección de este documento.

La idea de interacción espacial es fundamental en la planeación de ciudades y regiones, y está presente en la mayoría de los modelos operativos de transporte, localización de actividades, difusión de innovaciones, localización residencial; así como en los modelos integrales de crecimiento urbano y los interregionales de insumo-producto (Wilson y Bennett, 1985; Leontief y Strout, 1963; Polenske, 1972; Kim *et al.*, 1983; Garrocho y Álvarez, 1995; Carrocho, 1994).

Algunas aplicaciones de modelos de interacción espacial en estudios migratorios

La bibliografía internacional informa acerca de numerosas aplicaciones empíricas de modelos de interacción espacial al análisis y simulación de flujos migratorios. Por ejemplo, Lowry (1966) usó un modelo simple de interacción espacial para analizar flujos migratorios rural-urbanos en Estados Unidos, y Rogers (1967) modificó el modelo propuesto por Lowry para analizar flujos de migración en California (generando el llamado modelo de *Lowry-Rogers*); Flowerdew y Salt (1979) usan un modelo de este tipo para analizar los flujos migratorios entre 126 microzonas de Inglaterra; Clayton (1977) realiza un estudio similar en Estados Unidos; Drewe (1980) lo hace en los Países Bajos; McKay y Whitelaw (1978) en Australia, y Simmons (1979) en Canadá; Wilson comunica interesantes resultados de análisis migratorios interregionales para Inglaterra (Wilson y Rees, 1974; Wilson, 1980) al igual que Haggett, Cliff y Frey (1977); Stilwell (1978) y Congdon (1988). Por su parte, Fotheringham (1981, 1983, 1983b, 1984, 1985, 1986a, 1986b) realiza diversos estudios teóricos y empíricos con datos migratorios de Estados Unidos, e Ishikawa (1987) adopta la estructura conceptual de Fotheringham y la pone a prueba para analizar flujos migratorios en Japón.

Sin embargo, la bibliografía no ha comunicado alguna aplicación empírica de modelos de interacción espacial al análisis de flujos de migración interna de México, quizá por la poca disponibilidad de información migratoria que hasta hace poco existía en el país.⁹

⁹ A pesar de los inteligentes esfuerzos deductivos realizados, por Partida (1984), Unikel, Garza y Chiappeto (1976), entre otros.

Un modelo operativo para simular la migración interna de México: principales ideas y diseño operativo

Existen diversos tipos de modelos de interacción espacial (Wilson y Bennett, 1985; Fotheringham y O'Kelly, 1989). La utilización de cada tipo de modelo depende de la información disponible sobre los flujos totales en el sistema de unidades espaciales y de los objetivos analíticos. En este trabajo se emplea una versión del modelo de *producción condicionada* llamado de *destinos en competencia*, que se explica con mayor detalle a continuación.¹⁰

Principales ideas y diseño operativo

Los modelos de interacción espacial simulan flujos entre unidades espaciales. El que se utiliza en este trabajo pertenece a la familia de los de *producción condicionada*, ya que permite simular flujos en sistemas de unidades espaciales en los cuales se conoce la magnitud de la masa¹¹ en las unidades de origen, pero se desconoce (o se quiere simular) el volumen del flujo que llega a cada unidad de destino.¹²

Suponiendo que se contara con la información completa de flujos entre todas las unidades de un sistema espacial específico (como ocurre, por ejemplo, para el conjunto de entidades federativas de México en 1990), se podría ordenar en forma de matriz *origen-destino*, de tal manera que se tuviera en las columnas de la extrema izquierda

¹⁰ Explicaciones amplias de los modelos básicos de interacción espacial se pueden ver en Wilson, 1980; Smith, 1975; Garrocho, 1992. Por otro lado, Wilson y Bennett (1985) y Fotheringham y O'Kelly (1989) presentan discusiones conceptuales, avances recientes y aplicaciones diversas y novedosas de los modelos de interacción espacial, incluyendo el de destinos en competencia (*spatial interaction competing destinations model*). Aplicaciones de modelos de interacción espacial a *escala real* para regiones de México se pueden ver en Garrocho (1993), y Juárez (1993). En Garrocho y Álvarez (1995), se presenta una aplicación de un encadenamiento de modelos de interacción espacial para simular el crecimiento de una zona metropolitana de México.

¹¹ Por masa se entiende el volumen de lo que *potencialmente* puede viajar: la población migrante, por ejemplo.

¹² En el caso de la migración interna de México, el *XI Censo general de población y vivienda 1990* (INEGI, 1992b) ofrece información que permite conocer tanto a la población que sale (*emigrante*) de cada estado, como a la que llega (*inmigrante*) a cada uno en un cierto periodo. El dato de la población que sale de cada estado es insumo y restricción del modelo. El dato de la población que llega a cada estado sirve para contrastarlo con los resultados del modelo, calibrarlo y estimar su capacidad de simulación.

las unidades o zonas de origen y en el renglón superior las unidades o zonas de destino. El valor registrado en cada una de las celdas de la matriz sería el flujo entre dos unidades espaciales y podría representarse de manera general como F_{ij} , es decir, el flujo de la unidad de origen "i" a la unidad de destino "j" (Garrocho, 1992b).

Por lo tanto, el flujo total que sale de la unidad de origen "i" puede representarse como O_i donde:

$$O_i = \sum_j F_{ij}$$

Asimismo, el flujo total que llega al destino "j" sería I_j donde:

$$I_j = \sum_i F_{ij}$$

Estos términos son comúnmente conocidos como *orígenes* (O_i , en donde se origina el flujo) y *destinos* (I_j , a donde llega el flujo) o como *productores* y *atractores* (de flujos), respectivamente (Wilson y Bennett, 1985).

Ahora bien, el trayecto de la unidad "i" a la unidad "j" no es gratuito. Implica un costo que puede medirse en unidades temporales, económicas, físicas o por una combinación de éstas y otras variables relacionadas. El costo de viajar de "i" a "j" se representa como C_{ij} y se supone –siguiendo los razonamientos de la economía neoclásica– que el costo afectará la intensidad de los flujos y los contactos entre las unidades espaciales.¹³ Por lo tanto, mientras mayor sea el costo de la interacción (por ejemplo, el costo de transporte o los costos de instalación en el destino, si se trata de flujos migratorios), menor será la intensidad de los flujos que se establezcan.

El componente C_{ij} es afectado por un parámetro "b" que representa la importancia que tiene el costo de interactuar para cada tipo

¹³ Se supone que el costo de interactuar –objetivo o subjetivo– está *negativamente* relacionado con la intensidad de las interrelaciones entre unidades espaciales: a mayor costo, menor la intensidad de las interrelaciones, y viceversa. Sin embargo, algunos atributos del destino pueden generar una fuerza de atracción que *contrarreste* la influencia del costo. Esto complica el modelado de los flujos, pero añade realismo al razonamiento que sustenta a los Modinte.

de flujo (población, bienes) y para cada unidad espacial (ciudad, región, etc.). En otras palabras, el parámetro “*b*”, representa lo *sensible* que es cada tipo de flujo originado en cada unidad espacial, ante cambios en los costos de interacción.

Adicionalmente, los modelos de interacción espacial consideran que las unidades de destino pueden tener diferente capacidad para atraer o polarizar flujos de acuerdo con ciertos atributos que las distinguen y que se representan en el modelo como W_j . La intensidad de las interrelaciones entre las unidades espaciales se relaciona *positivamente* con W_j ; por ello mientras mayor sea W_j , mayores serán también los flujos que atraiga la zona en cuestión.¹⁴ Regularmente los modelos de interacción espacial siguen casi totalmente los preceptos de la economía neoclásica y asumen un comportamiento estrictamente racional-utilitario de los migrantes. Pero en este ejercicio la variable de atractividad (W_j) se desintegra en dos factores W_{jo} y W_{js} que representan, el primero, los atributos *objetivos* que definen la atractividad migratoria de cada destino, y el segundo, la *percepción* de esos atributos objetivos por parte de la población de cada origen. De esta manera es posible combinar en un mismo indicador algunos razonamientos derivados tanto del enfoque neoclásico, como de la teoría conductista.¹⁵

El objetivo de los modelos de interacción espacial es, por tanto, simular y/o predecir *condicionadamente* la interacción (F_{ij}) en términos del comportamiento de las variables independientes C_{ij} , O_i , y W_j . Estas variables son independientes en el modelo, pero, a su vez, pueden ser funciones de diversas variables exógenas al modelo.

Por ejemplo, el poder de un estado para atraer migrantes (W_j) puede estar relacionado con el dinamismo de su mercado de trabajo y con los diferenciales salariales respecto de los estados de origen de los migrantes. En ese caso:

$$W_j = f(a, b, c, \dots)$$

donde a, b, c, \dots serían las variables que definen la atractividad de la unidad de destino “*j*”.

¹⁴ Aunque los costos de interacción actúan en la dirección opuesta y contrarrestan la *atractividad* de cada unidad espacial.

¹⁵ Concebido así, el término W_j representa de alguna manera la utilidad del destino o *place utility* (véase la primera sección).

El modelo utilizado en este artículo incluye, además, un término sugerido por Fotheringham (1983), que representa la accesibilidad relativa de cada elemento respecto de los demás (D_j). El supuesto que justifica la utilización de este término es que los migrantes potenciales no pueden procesar ordenadamente la gran cantidad de información disponible acerca de todos los posibles destinos migratorios, lo cual los obliga a establecer –consciente o inconscientemente– una estrategia de *selección jerárquica* de esos destinos. En la primera fase eligen entre grupos de destinos probables –*selección regional*–, y en una segunda fase escogen un destino específico del grupo de destinos previamente seleccionado –*selección puntual*. La accesibilidad de un destino respecto de todos los demás involucra explícitamente en el modelo la estructura espacial del sistema analizado y, por tanto, el proceso de decisión jerárquico de los migrantes en la selección espacial de sus destinos migratorios.¹⁶

Así, el modelo *restringido en el origen de destinos competidores* utilizado en este trabajo para simular los flujos de migración interna de México se expresa formalmente de la siguiente manera:

$$F_{ij} = A_i O_i W_j^n C_{ij}^{-b} D_j$$

F_{ij} = Flujo de migrantes del estado de origen "i" al de destino "j",

O_i = Total de emigrantes del estado "i",

W_j = Atractividad migratoria de cada estado

$$W_j = W_{jo} * W_{js}$$

donde:

$$W_{jo} = \text{Atractividad migratoria objetiva} = (E_t / E_{(t-1)}) * (S_{ij}) * (\log E_t)^{17}$$

$E_{(t-1)}$ = Empleo en el estado "j" en el año t-1

E_t = Empleo en el estado "j" en el año t

¹⁶ La argumentación detallada de la teoría de los *destinos competidores* puede verse en Fotheringham, 1983; 1983b; 1985; 1986a; 1986b; y en Fotheringham y O'Kelly, 1989. Críticas a los argumentos de Fotheringham se presentan en Ewing, 1986; y la teoría de los destinos competidores se somete a una prueba empírica en Ishikawa, 1987.

¹⁷ El diseño de este *índice de atractividad* (W_j) es interesante porque integra tres elementos diferenciales importantes para el análisis: i) el *dinamismo* del empleo: $E_t/E_{(t-1)}$; ii) la *calidad* del empleo: S_j ; y iii) la *magnitud* del empleo: $\log E_t$. La razón de utilizar el logaritmo del empleo en el tercer elemento se deriva del supuesto de que la atractividad de la magnitud del empleo aumenta menos que proporcionalmente.

S_{ij} = Diferencias entre las remuneraciones medias anuales entre el estado de origen "i" y el de destino "j":

$$S_{ij} = RMA_j / RMA_i$$

donde:

RMA_j = Remuneración media anual en "j"

RMA_i = Remuneración media anual en "i"

W_{js} = Atractividad migratoria subjetiva. Su valor se define endógenamente de manera iterativa (véase la explicación más adelante),

C_{ij} = Costo de migrar de "i" a "j":

$$C_{ij} = (d_{ij} / f_{ij})$$

donde:

d_{ij} = Distancia por carretera entre "i" y "j" (los centroides de "i" y "j" se localizaron en la ciudad de mayor crecimiento de cada estado).

f_{ij} = Flujo migratorio entre "i" y "j" en el periodo anterior. Este dato se expresa en términos porcentuales respecto del total de emigrantes de cada estado de origen, con el fin de evitar distorsiones debidas a la gran diversidad en la magnitud de población emigrante de cada unidad espacial.

D_j = Accesibilidad de cada destino respecto de todo el sistema

$$D_j = \sum_k^n (W_k / d_{kj}), \text{ donde } k \text{ es diferente de } j$$

en este caso d_{ij} es una matriz de destinos contra destinos, y "k" significa que W va tomando los valores de cada destino excepto cuando se trata del destino para el que se está calculando la accesibilidad.

A_i = Factor de balance, que asegura que

$$\sum_j F_{ij} = O_i$$

$$A_j = 1 / \sum_{i=1}^n (W_i^n C_{ij}^{-b} D_j)$$

n, b = Parámetros que se definen por calibración

Metodología para la operación de un modelo de simulación de migración interna de México

La operación del modelo se divide en dos partes. En la primera, llamada de *calibración*, se calculan los valores de las variables y los parámetros para todas las unidades espaciales, y el componente subjetivo de la atractividad migratoria de las regiones de destino. El objetivo de esta primera parte es encontrar los valores del modelo que mejor repliquen los flujos registrados en la realidad.¹⁸ En la segunda parte, de *simulación*, se modifican los valores de algunas –o todas– las variables de algunas –o todas– las unidades espaciales consideradas en el modelo para explorar sus efectos en la red de interrelaciones y generar escenarios migratorios probables.

Fase I: el proceso de calibración

La calibración del modelo comienza con la estimación de las variables duras (O_i, W_{jo}, C_i, D_j), lo que no requiere más que definir operativamente cada indicador, recolectar la información necesaria para estimarlo, organizarla y efectuar el cálculo.

En este caso, O_i es el total de emigrantes de cada estado y se puede tomar del *XI Censo general de población y vivienda, 1990* (INEGI, 1992b). W_{jo} se definió como la velocidad de crecimiento del empleo en el destino (el dinamismo del mercado de trabajo),¹⁹ matizada por el diferencial entre las percepciones promedio de la fuerza de trabajo en el origen y el destino.²⁰ Estas variables son susceptibles de ser influidas por el sector público, lo que las convierte en variables estratégicas, en términos de planeación. Por otro lado, la importancia de estas variables como determinantes de los flujos de migración interna de México ha sido ampliamente difundido.

¹⁸ Como *realidad* se consideran en este artículo aquellos valores de los flujos migratorios interestatales registrados en el *XI Censo general de población y vivienda, 1990* (INEGI, 1992b).

¹⁹ Este dato se construyó calculando el cociente del personal ocupado de 1988 entre el personal ocupado de 1985, utilizando como fuente de información los censos económicos de 1985 y 1989 (INEGI 1991, 1992a y 1993).

²⁰ Con el fin de evitar valores negativos en las diferencias salariales entre entidades federativas se expresaron las remuneraciones medias anuales de cada estado en términos porcentuales, respecto a la más alta remuneración media anual registrada entre todos los estados del país. Las fuentes de información fueron los censos económicos de 1985.

da por la literatura especializada (por ejemplo: Uribe y Caso, 1979; Partida, 1994; Rendón, 1992; Poder Ejecutivo Federal, 1995).²¹

El costo de migrar, C_{ij} , se definió como la relación entre la distancia en kilómetros por carretera entre las ciudades de mayor atracción migratoria de cada estado (centroides estatales) y la intensidad de las relaciones migratorias en el periodo anterior (en 1980).²² Así, el costo de migrar tiene un carácter *espacio-funcional* consistente con lo informado en la literatura sobre migración: negativamente asociado con el costo de viajar entre el origen y el destino (argumento *neoclásico*), y positivamente con la disponibilidad de información personalizada y de conocidos o familiares en las regiones de destino (argumento *conductista*).

Finalmente, D_j se estima a partir de la información de la distancia carretera entre los centroides estatales (d_{ij}) y el indicador de la atraktividad objetiva de cada entidad (W_o).

Una vez calculados los valores de las variables independientes del modelo, se procede a encontrar los valores del parámetro “ b ” que mejor ajusten los datos observados de migración. Esto se realiza corriendo el modelo con la atraktividad objetiva o *fenomenológica* $-W_{jo}-$ y manteniendo el parámetro “ n ” igual a uno.

Existen diferentes métodos para calibrar el parámetro “ b ”. En este caso se utilizó uno derivado del método de *Newton-Raphson*.²³ Una vez determinados los valores de “ b ” para cada región de origen se calibra el parámetro “ n ” del componente de atraktividad. Es decir, se corre el modelo con los valores óptimos de “ b ” y se estiman los valores de “ n ” que generan los resultados del modelo más parecidos a los observados.

Los indicadores estadísticos de bondad de ajuste del modelo fueron el coeficiente de correlación (R^2) entre los valores observados y calculados,²⁴ y el *error proporcional de los flujos* (e), que es uno de los indicadores

²¹ La información de la Encuesta Nacional de Migración en Áreas Urbanas (ENMAU) (Conapo, 1988), comunica que la principal razón citada para emigrar “fue conocer que hay posibilidades de empleo en otro lugar” (Poder Ejecutivo Federal, 1995).

²² Fuente de información utilizada: *X Censo general de población y vivienda, 1980* (SPP, 1986).

²³ Para una explicación detallada del método de calibración véase Batty, 1976. La calibración también se puede hacer por ensayo y error –aunque es más lento– y elegir el valor que ofrezca el menor error promedio entre los valores observados y los calculados, o de acuerdo con algún otro de los indicadores de bondad de ajuste indicados en la bibliografía sobre el tema (véase una amplia discusión al respecto en Webber, 1984).

²⁴ Aunque este indicador tiende a sobreestimar la bondad de ajuste. Véanse Webber, 1984; Batty, 1976.

de bondad de ajuste más recomendados en la bibliografía especializada (Webber, 1984). El indicador (e) se estima de la siguiente manera:

$$e = \sum |F_{ijr} - F_{ij}| / (2 \sum F_{ij})$$

donde:

e = Error proporcional promedio de los flujos calculados (proporción de migrantes erróneamente calculados)

F_{ijr} = Flujo real

F_{ij} = Flujo calculado

El resultado de correr el modelo con los parámetros "b" y "n" calibrados y con W_{jo} (la atractividad definida a partir de datos sobre atributos *objetivos* de cada destino) es una matriz de 992 celdas –que puede designarse como F_{ij0} –, que representa la manera como deberían establecerse los flujos si los migrantes tuvieran un comportamiento migratorio estrictamente *racional-utilitario*, si tuvieran información perfecta de los mercados espaciales de trabajo y si, en general, se cumplieran los supuestos de la economía neoclásica.

Sin embargo, como esto no sucede (no tiene por qué suceder, véase la primera sección), y como las percepciones, valores y aspiraciones subjetivas son importantes para definir el comportamiento migratorio, resulta importante estimar el componente subjetivo o *conductista* que determina la atractividad de migrantes de cada entidad de destino para la población de cada entidad de origen. Este componente subjetivo se calcula a partir del siguiente razonamiento.

Se parte del supuesto de que:

$$W_j = W_{jo} * W_{js}$$

entonces,

$$W_{js} = W_j / W_{jo}$$

Como el valor de W_{jo} es conocido (dado que se calcula a partir de fuentes documentales), el valor de W_{js} se podría deducir fácilmente si se conociera el valor de W_j .

Lo interesante es que el valor de W_j se puede calcular de manera endógena (es decir, en el marco del mismo modelo) si se instrumen-

ta un mecanismo de cálculo iterativo. Este mecanismo funciona de la siguiente forma:²⁵

$$W_j = W_{jo} (F_{ijr} / F_{ijo}), \text{ hasta que } F_{ijo} = F_{ijr}$$

donde:

W_j = Atractividad migratoria total de "j", para la población de "i",

W_{jo} = Atractividad objetiva de "j",

F_{ijo} = Flujos migratorios calculados de "i" a "j",

F_{ijr} = Flujos migratorios reales de "i" a "j".

En promedio se requieren seis o siete iteraciones para encontrar el valor de W_j que satisface la igualdad entre los flujos calculados y los observados, y una vez definido el valor de W_j se estima sin problemas el de W_{js} .²⁶

El resultado de correr nuevamente el modelo con los parámetros calibrados y considerando el componente subjetivo de la atractividad migratoria de cada destino es una matriz de flujos calculados igual a la matriz de flujos observados en cada una de sus 992 celdas. El ajuste entre lo real y lo calculado es perfecto, lo que resulta particularmente útil para realizar ejercicios de simulación.²⁷

Fase II: el proceso de simulación

La base conceptual del modelo (la teoría de interacción espacial) es eminentemente sistémica ya que considera de manera simultánea los

²⁵ Este mecanismo de cálculo iterativo se utiliza ampliamente en los modelos integrales de crecimiento urbano (por ejemplo, Batty, 1976; Putman, 1983, 1991; Williams, 1994; Rohr y Williams, 1994; Jin, 1994; Garrocho y Álvarez, 1995) y se explica en mayor detalle en Foot, 1978.

²⁶ La interpretación de los valores de W_j es interesante: los valores superiores a uno indican que la población de "i" sobreestima los atributos de la localidad "j"; los valores menores a uno indican que la población de "i" subestima los atributos de la localidad "j"; y los valores iguales o cercanos a uno indican que la población de "i" percibe correctamente los atributos de la localidad "j".

²⁷ En realidad el ajuste entre lo calculado y lo observado nunca es absolutamente perfecto. Como el método es de aproximaciones sucesivas siempre existirá un error, aunque sea infinitesimal. En este ejercicio se consideró razonable –por motivos puramente prácticos– detener el proceso de cálculo iterativo cuando el error de ajuste fue igual o menor a una diezmilésima. Este error significa que –como máximo– uno de

elementos (*orígenes y destinos*) y sus interrelaciones (*flujos*).²⁸ Por lo tanto, estos modelos permiten analizar y simular integralmente algunos aspectos de los patrones migratorios en los que es crucial considerar que los cambios en uno de los elementos del sistema (en este caso, los estados) afectan directa o indirectamente al resto –aunque sea en términos relativos– y por lo tanto, a la red de interrelaciones migratorias.

La etapa de simulación del modelo consiste en correrlo nuevamente con sus parámetros calibrados, pero alterando algunos valores de las variables estratégicas: W_{jo} –si cambian el dinamismo de los mercados de trabajo o los diferenciales en las percepciones promedio de la fuerza de trabajo;²⁹ y C_{ij} , si cambian la red carretera o las relaciones funcionales entre los estados. Por su parte, W_{js} y f_{ij} se mantienen constantes.³⁰ En la fase de simulación, estas dos variables juegan el papel de variables de inercia (*lagged variables*) o de conexión temporal entre la situación en el año “ t ” y la que podría generarse en el año “ $t+1$ ”. Utilizar variables de inercia es una práctica común para añadir cierto dinamismo a los modelos regionales (Putman, 1983 y 1991; Barra, 1989). El supuesto que justifica el tratamiento de estas variables de *conexión temporal*, es que las percepciones y la conducta migratoria de la población tienen profundas raíces históricas, por lo que no cambian tan rápidamente.³¹ Además, el patrón de migración anterior determina en gran medida los flujos de información sobre oportunidades disponibles en los destinos (Alien, 1979). Es razonable suponer, entonces, que para generar escenarios migratorios futuros deba considerarse el comportamiento migratorio pasado (Alperovich *et al.*, 1977).

El resultado de correr el modelo calibrado con cambios en sus variables independientes –como resultado de políticas *institucionales* hipotéticas– es una matriz completa de flujos migratorios *probables*. Es

cada diez mil migrantes es erróneamente calculado por el modelo. Sin embargo, cada analista puede fijar su propio límite aceptable de error.

²⁸ Una revisión detallada de la teoría general de sistemas aplicada al análisis regional puede verse en Graizbord y Carrocho, 1987.

²⁹ Esto a su vez generaría cambios en D_j .

³⁰ La matriz f_{ij} toma los valores reales conocidos más recientemente, relativizados respecto al total de emigrantes de cada origen.

³¹ Existe evidencia para México de que la dirección e intensidad de los flujos migratorios registran cambios (Garrocho, 1995; Poder Ejecutivo Federal, 1995), pero dentro de un esquema general que permanece más o menos estable en el mediano plazo (Partida, 1984; Corona y Luque, 1992; Negrete, 1990; Corona, 1993).

decir, un nuevo escenario migratorio. Las diferencias entre los escenarios migratorios generados a partir del modelo y el escenario real se podrían interpretar como el *impacto migratorio* de los cambios registrados en las variables independientes.

Calibración y simulación de escenarios

En esta sección se presentan los principales indicadores de la calibración del modelo y un ejemplo de cómo se podría utilizar con fines de simulación. Algunos aspectos del funcionamiento del modelo se exploran con mayor detalle en el contexto de estados particulares, con el fin de ilustrar más claramente su operación y posible utilidad.

Fase I: calibración

El modelo se calibró para cada origen,³² por lo que se calcularon los valores óptimos de los parámetros para cada estado del país (cuadro 1). Los valores de la fricción del costo de interactuar –parámetro “*b*”– fluctúan entre 0.40 (Baja California) y 0.99 (Estado de México), lo cual indica que es amplio el espectro de variación en la sensibilidad de la migración ante cambios en los costos de migrar. Además, los resultados de diversos experimentos demostraron que a pesar de que los valores del parámetro “*b*” son relativamente bajos, el modelo es muy sensible a los cambios en sus valores. Es decir, al parecer la migración es muy sensible a los costos.³³ Por su parte, el rango de variación –desde 0.70 hasta 1.98– del parámetro de la atractividad –“*n*”– indica que la elección de los destinos es altamente selectiva. Cabe resaltar que los valores de los parámetros no se acercan a cero, lo cual sugiere que no existen problemas de colinearidad entre las variables dependientes e independientes del modelo.³⁴

³² Lo que Fotheringham y O’Kelly (1989) llaman: “origin-specific calibration”.

³³ Cambios pequeños en el valor de los parámetros generan alteraciones importantes en el patrón de flujos.

³⁴ El llamado *Bogus Calibration Problem* (Batty, 1976), que tanto afecta a numerosos modelos de interacción espacial.

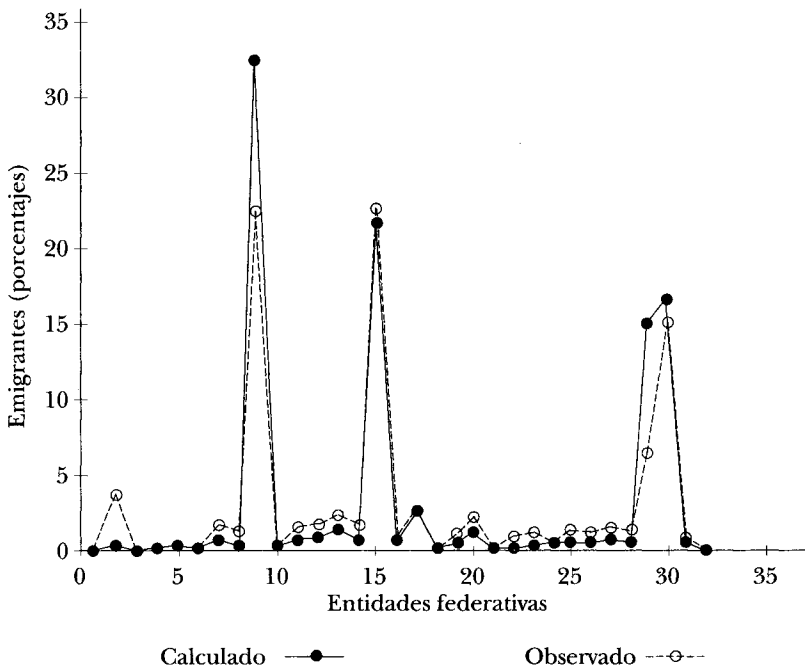
CUADRO 1
Modelo de simulación de flujos de migración interna de México:
parámetros y estadísticas de bondad de ajuste

<i>Núm.</i>	<i>Entidades federativas</i>	<i>"b"</i>	<i>"n"</i>	<i>Bondad de ajuste</i>	<i>R²</i>
1	Aguascalientes	0.68	1.40	0.151	0.86
2	Baja California	0.40	0.80	0.270	0.50
3	Baja California Sur	0.45	0.95	0.174	0.88
4	Campeche	0.52	1.01	0.150	0.92
5	Coahuila	0.46	1.20	0.282	0.67
6	Colima	0.68	1.10	0.114	0.97
7	Chiapas	0.60	0.70	0.259	0.75
8	Chihuahua	0.70	0.90	*0.143	0.93
9	Distrito Federal	0.70	0.99	0.089	0.99
10	Durango	0.88	1.58	0.143	0.94
11	Guanajuato	0.77	1.20	0.164	0.76
12	Guerrero	0.69	1.00	0.163	0.89
13	Hidalgo	0.70	1.60	0.113	0.97
14	Jalisco	0.70	1.40	0.164	0.84
15	México	0.99	1.30	0.181	0.84
16	Michoacán	0.80	0.98	0.113	0.91
17	Morelos	0.60	0.96	0.188	0.85
18	Nayarit	0.75	1.10	0.160	0.86
19	Nuevo León	0.62	0.65	0.162	0.91
20	Oaxaca	0.83	1.24	0.145	0.90
21	Puebla	0.74	1.67	0.102	0.96
22	Querétaro	0.71	1.00	0.087	0.97
23	Quintana Roo	0.52	0.90	0.182	0.94
24	San Luis Potosí	0.93	1.05	0.129	0.95
25	Sinaloa	0.75	1.10	0.224	0.75
26	Sonora	0.72	1.00	0.151	0.94
27	Tabasco	0.63	1.25	0.165	0.85
28	Tamaulipas	0.61	0.81	0.222	0.86
29	Tlaxcala	0.68	1.98	0.075	0.99
30	Veracruz	0.79	1.25	0.111	0.92
31	Yucatán	0.82	1.01	0.119	0.97
32	Zacatecas	0.77	0.90	0.186	0.80

En las gráficas 1 a 4 se presenta el comportamiento típico del modelo en sus fases de calibración. El ejemplo que se muestra corresponde al estado de Puebla. En la gráfica 1 se observan los resultados del modelo sin calibrar (con los parámetros iguales a uno), y sus estadísticas de bondad de ajuste. El coeficiente de correlación (R^2) entre

los valores observados y calculados es 0.911, lo que indica que en general el comportamiento de los resultados del modelo corresponde con los valores reales; pero el indicador de error promedio de asignación (e) muestra que los resultados del modelo tienen una desviación de 21% respecto de los observados. Esto sugiere dos lecciones: *i*) el coeficiente de correlación no es un indicador totalmente confiable de la bondad de ajuste de los modelos; y *ii*) aun sin calibrar los modelos derivados de la estructura conceptual de la interacción espacial pueden generar resultados razonables.

GRÁFICA 1
Puebla: flujos observados vs. calculados. Modelo sin calibrar



$b = 1.00; \quad n = 1.00; \quad e = 0.209; \quad R^2 = 0.911.$

Nota: Las entidades federativas se especifican en el cuadro 1.

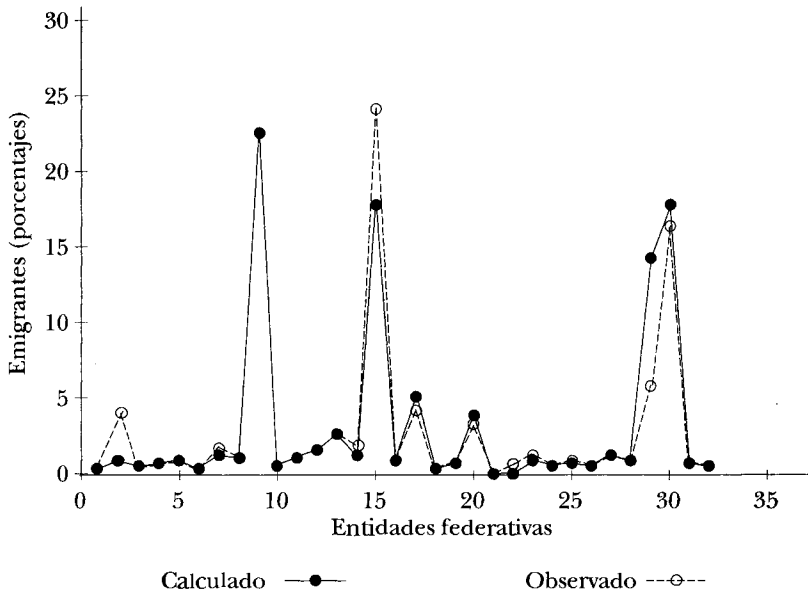
Al calibrar el parámetro “*b*” (cuyo valor óptimo para el caso de Puebla es 0.74; gráfica 2) se logra un mejor ajuste entre los datos observados y los que calcula el modelo. El coeficiente de correlación sube a 0.924 y el error promedio de asignación baja a 0.118. Sin embargo se detectan algunos problemas importantes. Por ejemplo, *subasignación* de migrantes en los flujos que van de Puebla a Baja California y al Estado de México, y *sobreasignación* en el flujo Puebla-Tlaxcala.

Manteniendo el valor óptimo de “*b*” y calibrando el parámetro “*n*” (cuyo valor óptimo es 1.67) se incrementa a 0.96 el coeficiente de correlación entre lo observado y lo calculado y se reduce el error promedio de asignación a 0.102 (gráfica 3). Es decir, el modelo equivoca en promedio 10.2% el cálculo de los flujos, pero los patrones observados y calculados son muy parecidos, como lo indica el elevado valor de la R^2 . Cabe subrayar que desaparece el problema de asignación registrado anteriormente en el flujo de Puebla al Estado de México –lo que indica que la atraktividad de este último estaba subestimada– pero se siguen detectando graves desajustes en los flujos que van de Puebla a Baja California y a Tlaxcala. El primero se debe, seguramente, a que en el modelo no se incluyó ninguna variable que representara la importancia de algunos estados como *estaciones* de migración internacional, particularmente rumbo a Estados Unidos; el segundo, a que el modelo no es capaz en su estado actual de distinguir entre los viajes diarios de una unidad espacial a otra (*commuters*) y la migración permanente. La gran cercanía de Puebla y Tlaxcala provoca que el modelo sobreestime de manera muy importante este flujo migratorio. Estos errores –que regularmente resultaron muy focalizados en los experimentos realizados– se pueden corregir incluyendo nuevas variables (en los estados fronterizos, pero especialmente en el caso de Baja California)³⁵ y considerando de distinta manera la distancia, especialmente las distancias cortas.³⁶ Aunque, con el fin de ahorrar

³⁵ La importancia de algunos estados como estaciones de salida de migrantes internacionales se advierte en Negrete, 1990; y sobre todo en el magnífico artículo de Corona, 1993. Incluso a partir de los interesantes datos presentados por Rodolfo Corona se podría definir un indicador que representara la importancia de los estados del país como *estaciones de salida* (y escala) de migrantes internacionales. Es probable que la inclusión de ese indicador permitiría mejores ajustes entre los flujos observados y los calculados.

³⁶ Esto justificaría la acción de probar en el modelo otras formas de la función de la distancia. En este ejemplo se utilizó una función de potencia, pero la bibliografía informa sobre diversas funciones que se pueden utilizar (Fotheringham y O’Kelly, 1989; Foot, 1981; Putman, 1983 y 1991; Barra, 1989).

GRÁFICA 2
Puebla: flujos observados vs. calculados calibrando "b"



$b = 0.74; \quad e = 0.118; \quad n = 1.00; \quad R^2 = 0.924.$

Nota: Los puntos en el eje horizontal correspondientes a las entidades federativas, siguen el orden alfabético y numérico establecido en el cuadro 1.

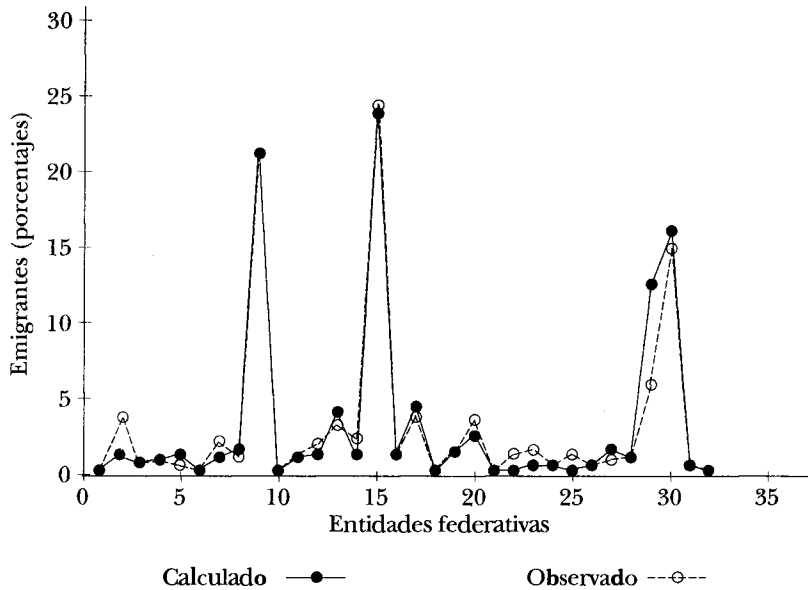
tiempo, generalmente en los ejercicios de simulación los problemas de calibración *focalizados* se resuelven con ajustes específicos.³⁷

Luego de la última fase de calibración —la de *cálculo iterativo* para encontrar el valor óptimo de W_j —, el ajuste entre lo calculado y lo observado es prácticamente perfecto (gráfica 4). La correlación es 1.000 y el error promedio de asignación es 0.000. Evidentemente, los valores del componente de atractividad subjetiva $-W_s$ — obtenidos mediante cálculo iterativo se alejarán más de la unidad en los estados con problemas de ajuste en la etapa de calibración anterior, y serán cercanos a uno en los estados que ya presentaban buenos ajustes. Baja Cali-

³⁷ Lo que en la bibliografía especializada anglosajona se conoce como *fine tuning* o *tuning-up*.

GRÁFICA 3

Puebla: flujos observados vs. calculados calibrando "b" y "n"



$b = 0.74$; $e = 0.102$; $n = 1.67$; $R^2 = 0.964$.

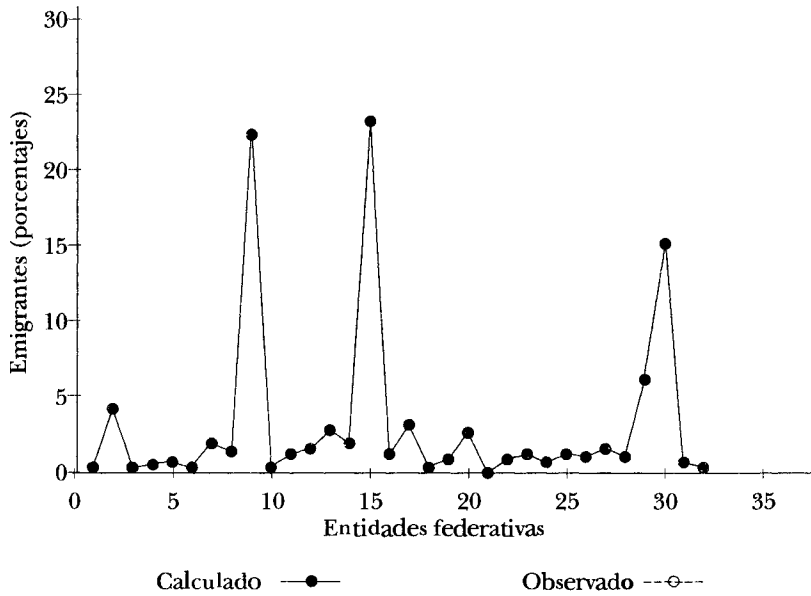
Nota: véase la gráfica 2.

fornia presenta una W_s igual a 2.53 (lo que corrige el problema de subasignación del modelo) y Tlaxcala una de 0.74 (lo que elimina el problema de sobreasignación de migrantes). Entre estos dos valores fluctúan los indicadores de los demás estados, pero tendiendo a la unidad (cuadro 2).

Si se calcula el total de migrantes que llegan a cada estado provenientes de las otras 31 entidades federativas con los resultados del modelo calibrado solamente en "b" y en "n", la correlación entre los flujos totales calculados y observados que llegan a cada estado es 0.908 y el error promedio de asignación de 0.210 (gráfica 5). Los flujos totales calculados corresponden a la sumatoria de las columnas de la matriz de valores calculados (992 celdas), por lo que resultan alentadores los indicadores de bondad de ajuste total del modelo. Se detectan, sin embargo, problemas de ajuste en algunos estados, como Baja California, Baja California Sur, Campeche, Colima, Hidalgo y Querétaro (gráfica 5), aunque se eliminan en la fase de calibración de W_j .

GRÁFICA 4

Puebla: flujos observados vs. calculados calibrando "b", "n" y "W"



$b = 0.74$; $e = 0.000$; $n = 1.67$; $R^2 = 1.000$.

Nota: véase la gráfica 2.

Fase II: simulación

Con el fin de ilustrar cómo puede usarse el modelo con fines de simulación se plantea el siguiente escenario, deliberadamente sencillo: *i)* se pretende reducir la inmigración en Puebla; *ii)* para lograrlo se alentará el empleo en algunos de los estados que más migrantes dirigen hacia Puebla; y *iii)* se pretende explorar los cambios que generarían las acciones de aliento al empleo, tanto en Puebla como en el resto del sistema migratorio.³⁸

Supongamos que partiendo de la revisión de los orígenes de los migrantes a Puebla se decide instrumentar políticas específicas de ge-

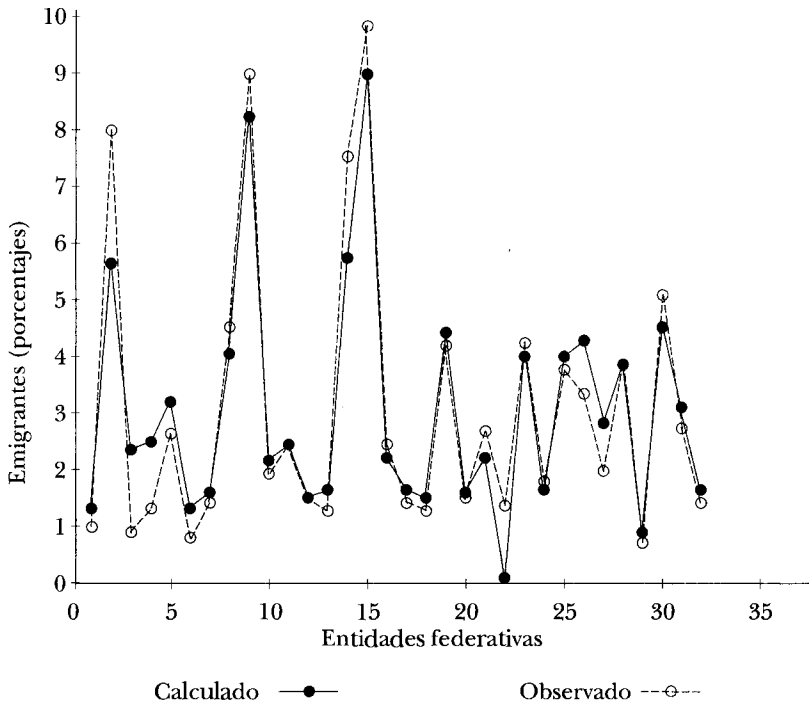
³⁸ Alterar la *atractividad absoluta* de algunos estados modifica la importancia relativa de todos los elementos del sistema y, en consecuencia, el patrón de interrelaciones. Es decir, se espera que se generen cambios –de importancia variable– en los valores calculados de las 992 celdas de la matriz de migración.

CUADRO 2
Modelo de simulación de flujos de migración interna de México:
índices de atracción de migrantes procedentes de Puebla

Núm.	Entidades federativas	Atractividad		
		Objetiva W_o	Subjetiva W_s	Total W_{tot}
1	Aguascalientes	1.33	1.51	2.01
2	Baja California	2.14	2.53	5.40
3	Baja California Sur	1.32	0.97	1.29
4	Campeche	1.71	1.02	1.75
5	Coahuila	2.99	0.74	2.21
6	Colima	1.46	1.11	1.61
7	Chiapas	0.77	1.81	1.39
8	Chihuahua	3.01	0.90	2.70
9	Distrito Federal	1.71	1.14	1.95
10	Durango	1.38	0.98	1.36
11	Guanajuato	1.26	1.46	1.84
12	Guerrero	0.66	1.59	1.04
13	Hidalgo	2.49	1.01	2.51
14	Jalisco	0.90	1.93	1.74
15	México	2.59	1.14	2.97
16	Michoacán	0.77	1.40	1.08
17	Morelos	1.48	1.05	1.56
18	Nayarit	0.64	1.73	1.10
19	Nuevo León	3.08	1.03	3.17
20	Oaxaca	0.70	1.51	1.05
21	Puebla	1.29	0.00	0.00
22	Querétaro	2.48	4.91	12.09
23	Quintana Roo	1.01	1.92	1.94
24	San Luis Potosí	1.66	1.13	1.88
25	Sinaloa	0.84	2.06	1.73
26	Sonora	1.99	1.22	2.43
27	Tabasco	2.49	0.96	2.41
28	Tamaulipas	2.07	1.10	2.28
29	Tlaxcala	1.66	0.74	1.24
30	Veracruz	1.60	1.10	1.76
31	Yucatán	0.89	1.31	1.16
32	Zacatecas	0.69	1.37	0.94

neración de empleos –públicos y privados– en los estados de Hidalgo, México, Morelos, Oaxaca, Tlaxcala y Veracruz. Se esperaría que –como resultado de estas políticas– disminuyeran los flujos de migrantes a Puebla, pero se intensificaran ciertos flujos a los estados en los que

GRÁFICA 5
Total de inmigrantes por estado (flujos observados y calculados)



$e = 0.210$; $R^2 = 0.908$.

Nota: véase la gráfica 2.

se contempla alentar el empleo, dado que aumentaría su atraktividad en el sistema. Algunas preguntas que se podrían explorar serían: ¿cuánto bajarían los flujos migratorios a Puebla? ¿Cuáles flujos de migración manifestarían incrementos y cuáles registrarían decrementos en el sistema migratorio? Finalmente, ¿cuáles serían los cambios probables que se advertirían en la migración total que llega a cada entidad, como consecuencia de alentar el empleo en estados específicos?³⁹

³⁹ En términos sistémicos se podría preguntar “¿cómo se alteraría el patrón de *interrelaciones* si se alteraran los atributos de *elementos* específicos?”, pregunta que sigue el formato típico de las que guían la evaluación *ex-ante* de las políticas públicas.

Los resultados de correr el modelo con nuevos datos de empleo para algunos de los estados emisores de migrantes a Puebla,⁴⁰ afectan a todo el sistema de manera diversa (gráfica 6). Evidentemente los estados que recibieran apoyo para generar empleos incrementarían su atracción de migrantes –particularmente Hidalgo y Veracruz– y enfrentarían presiones en su oferta de servicios, vivienda, suelo, etcétera; y en Puebla se reduciría la llegada de migrantes. Más interesantes, quizá, son los impactos diferenciales registrados en el resto de los elementos del sistema. Algunos, como Coahuila, Chihuahua y Durango, manifestarían reducciones marginales, mientras que Querétaro y el Distrito Federal presentarían reducciones más significativas. En este ejemplo, estas dos entidades podrían considerarse beneficiarias indirectas de las acciones de política dirigidas a reducir las migraciones a Puebla.

Los cambios en la llegada de inmigrantes a cada estado dependen de las variaciones registradas en cada flujo que se establece entre pares de entidades. Es decir, de los cambios advertidos en cada una de las 992 celdas de la matriz de migración. Interpretar tal cantidad de datos puede ser una tarea compleja. Sin embargo si se conecta el modelo migratorio con un sistema gráfico apropiado se puede generar una matriz temática de intensidad de flujos migratorios (MTIFM) que facilita la interpretación y el análisis de los cambios en la intensidad de los flujos migratorios (gráfica 7).⁴¹

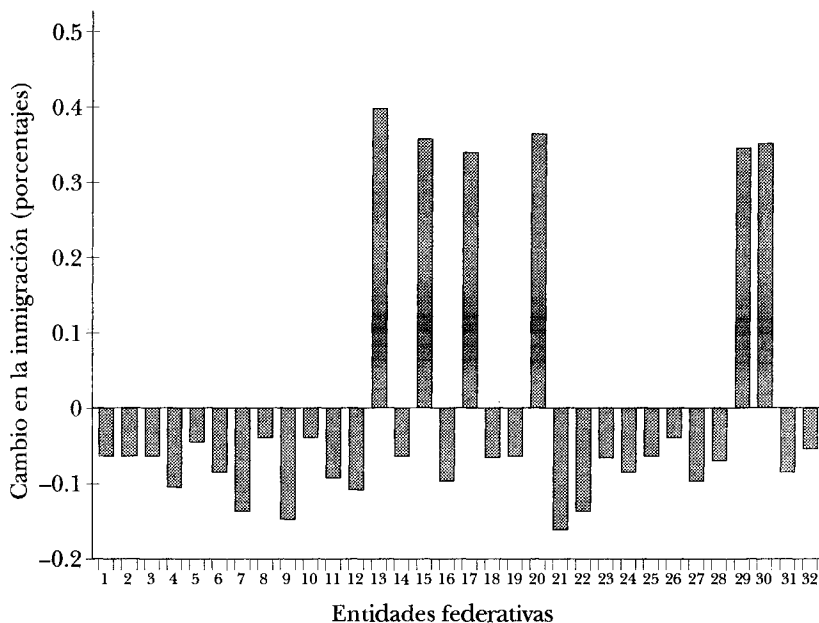
Conclusiones y agenda de investigación

Los resultados del modelo de migración interna que se presentan en este artículo sugieren que la estructura conceptual y operativa derivada de la teoría de la interacción espacial es una alternativa viable para intentar aplicar modelos sistémicos de flujos migratorios. Permite integrar diversos argumentos teóricos y mezclarlos coherentemente en una misma estructura operativa.

⁴⁰ Se supuso un incremento de 30% en la generación de empleos, con el fin de que los resultados fueran más ilustrativos.

⁴¹ En este caso se conectó el modelo con MAPINFO, que es un sistema de información georreferenciada. El resultado es una matriz en la que se registran rangos de valores, más que los valores mismos. Esto simplifica notablemente la posibilidad de visualizar la magnitud de los cambios registrados en todo el sistema. Esta matriz temática sería un equivalente *abstracto* de los mapas temáticos que tanto utilizan los cartógrafos.

GRÁFICA 6
Impacto en la inmigración estatal derivado de cambios en el empleo



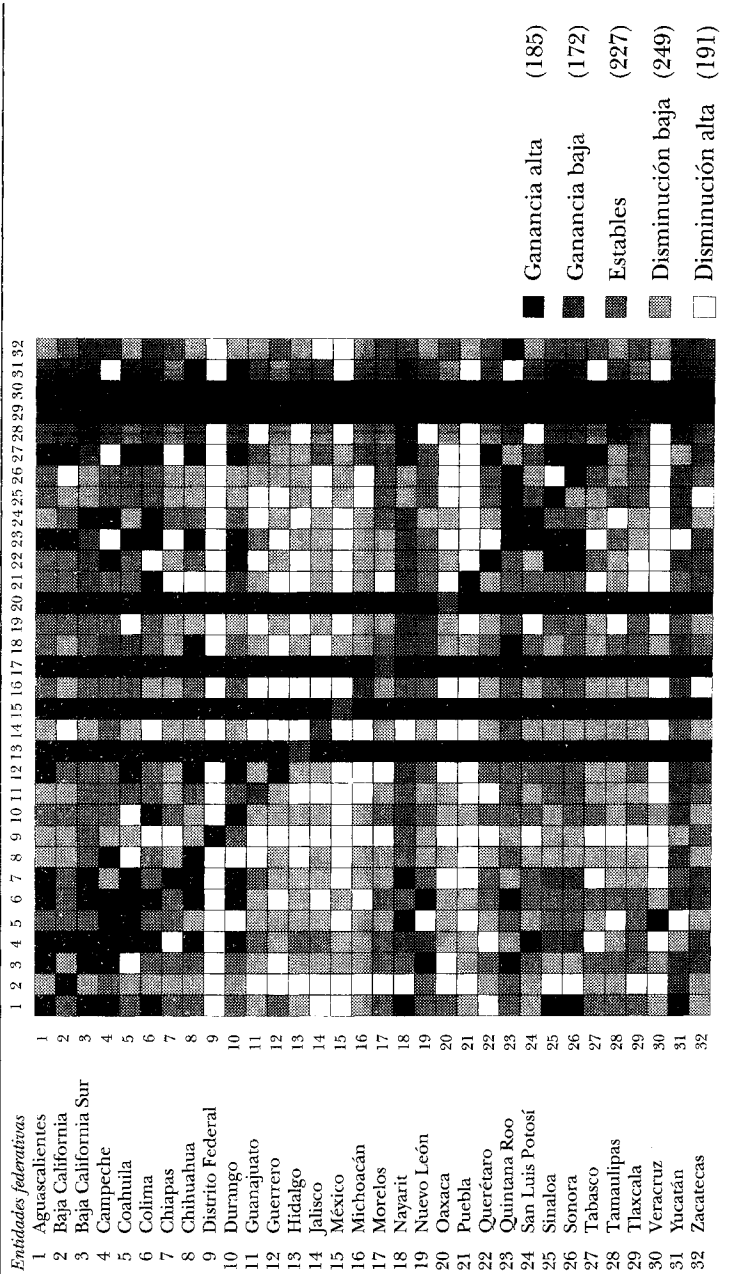
Nota: véase la gráfica 2.

Los modelos de interacción espacial son sencillos, pero eso facilita la discusión y evaluación de su estructura, funcionamiento y resultados sobre bases claras.⁴² No obstante, pueden ser desarrollados de muy diversas maneras y alcanzar el grado de complejidad que requieran los análisis específicos.

Los resultados del modelo de migración interna de México (MIM) son alentadores. No sólo siguen el comportamiento general del complejo patrón migratorio *real*, sino que sus diferencias con los flujos

⁴² Cabe recordar las clásicas recomendaciones de Lee (1973) para la construcción de modelos urbanos y regionales: *i) transparencia*—los modelos deben ser inteligibles para los usuarios—; *ii) solidez conceptual*—estar fundamentados sobre 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.

GRÁFICA 7
Matriz temática de intensidad de flujos migratorios.
Cambios simulados de la intensidad de los flujos migratorios interestatales



observados son, en su mayoría, aceptables. Esto seguramente se debe a que el modelo está integrado por variables y relaciones que tienen una justificación teórica clara, y están instrumentadas de manera relativamente sencilla para facilitar su comprensión, utilización y operación.

A pesar de ser sencillo, el MIM permite simular la totalidad del sistema migratorio y explorar el impacto global de los cambios en uno o varios atributos que se registran en lugares (estados) específicos. Esto abre enormes posibilidades para la exploración de escenarios, análisis de impacto y evaluación *ex-ante* de políticas migratorias.

En términos operativos el modelo tiene algunas ventajas. Es sencillo de manejar (corre en cualquier computadora personal), no requiere grandes cantidades de información (quizá la más difícil de recolectar se refiere a la distancia por carretera entre los centroides estatales), una vez instrumentado es fácil y económico manejarlo y los resultados son sencillos y claros. Su principal desventaja sería, quizá, que los modelos de interacción espacial no son ampliamente conocidos y que los mecanismos de calibración son relativamente complejos.

El modelo que se presentó en este artículo no está, de ninguna manera, terminado. Existen numerosas áreas en las que se puede mejorar su diseño. Por ejemplo, el hecho de que incluya variables relacionadas con el empleo abre una línea de investigación muy interesante –avanzada de alguna manera en términos teóricos por Gordon y Ledent, 1981; Beyers, 1980; Gleave y Cordey-Hays, 1977– que consiste en conectar el modelo migratorio con un modelo económico del comportamiento espacial de los mercados de trabajo.⁴³ Esto abriría la posibilidad de incluir en el modelo migratorio efectos hipotéticos de cambios económicos, como los derivados del Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLC) que tanto se destacan en el Programa Nacional de Población 1995-2000 (Poder Ejecutivo Federal, 1995).

Por otro lado, el componente de atractividad migratoria (W_j) constituye en sí mismo todo un problema de investigación, que podría duplicarse si se decide integrar en el modelo un componente específico que represente la capacidad de expulsión de población de cada estado. No obstante, el hecho de que un indicador de atractividad sencillo como el que se usó en este trabajo haya generado resul-

⁴³ El *Programa Nacional de Población 1995-2000* (Poder Ejecutivo Federal, 1995), propone examinar los análisis de distribución espacial de la población en el marco de los procesos económicos nacionales y regionales, con el fin de generar propuestas de políticas más integradas.

tados muy parecidos a los observados, hace pensar que un indicador mejor elaborado podría producir aun mejores ajustes.

Al experimentar con nuevas funciones de los costos de migrar se podrían reducir los problemas de ajuste en casos específicos, y también se avanzaría en este aspecto si se definieran las unidades de estudio de manera más integral y menos normativa. Por ejemplo, considerando como una sola unidad entidades altamente interrelacionadas como el Estado de México y el Distrito Federal, o Puebla y Tlaxcala.

Otro aspecto en el que se debe avanzar es en la integración al modelo de una variable que represente la importancia que tiene cada estado (particularmente Baja California) como estación de salida y escala de flujos de migración internacional. En apariencia esto sería relativamente sencillo, pero requiere mayor investigación y experimentación. Lo mismo se podría decir de la desagregación de los resultados por edad o sexo.

Otra línea de investigación se relaciona con la simulación de flujos migratorios entre ciudades, lo que se podría lograr con un modelo de asignación jerárquica. En este esquema se simularían primero los flujos interestatales y luego se distribuirían éstos entre las ciudades (o municipios) del interior de cada estado, utilizando como base indicadores conocidos de crecimiento social. Pero este esquema aún es incipiente.

La conexión del modelo migratorio con herramientas gráficas facilitaría enormemente el análisis de los resultados, y la MTFM que se presenta en este artículo es apenas el inicio.⁴⁴ Es fácil imaginar, también, una conexión que permitiera representar cartográficamente la dirección e intensidad de los flujos migratorios. Esto sin duda ofrecería la posibilidad de realizar análisis más interesantes y rápidos.⁴⁵

Las perspectivas son interesantes, y la disponibilidad de nuevos recursos técnicos y los avances registrados en diversas disciplinas han renovado el interés en los modelos cuantitativos como elementos de apoyo a las tareas de análisis y evaluación *ex-ante* de políticas públicas que involucran cuantiosos recursos sociales.⁴⁶ Felizmente –sobre todo

⁴⁴ Una conexión integral mucho más desarrollada entre modelos urbanos y sistemas de información geográfica se presenta en Garrocho y Álvarez, 1995.

⁴⁵ Actualmente se trabaja en este aspecto en el Laboratorio de Análisis Socioespacial (Lanse) de El Colegio Mexiquense.

⁴⁶ Los modelos operativos son solamente simplificaciones de una realidad altamente cambiante. No obstante, valdría la pena recordar las palabras de Richardson

para los contribuyentes— la cultura de la evaluación avanza irreversiblemente en nuestro país.

Bibliografía

- Alperovich, G., J. Bergsman y C. Ehemann (1977), "An Econometric Model of Migration Between U.S. Metropolitan Areas", *Urban Studies*, vol. 14, pp. 135-145.
- Allen, J. (1979), "Information and Subsequent Migration, Further Analysis and Additional Evidence", *Southern Economic Journal*, vol. 45, pp. 1274-1284.
- Barra, T. de la (1989), *Integrated Land Use and Transport Modelling*, Cambridge, Cambridge University Press (Cambridge Urban and Architectural Studies, 12).
- Barsby, S. L. y D. R. Cox (1975), *Interstate Migration of the Elderly*, Lexington, Massachusetts, Lexington Books.
- Batty, M. (1976), *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1994), "A Chronicle of Scientific Planning: The Anglo-American Modeling Experience", *Journal of the American Planning Association*, vol. 60, núm. 1, pp. 7-16.
- Beyers, W. B. (1980), "Migration and the Development of Multiregional Economic Systems", *Economic Geography*, vol. 56, pp. 320-334.
- Brown, L. A. y S. Gustavus (1977), "Place Attributes in a Migration Decision Context", *Environment and Planning A*, vol. 9, pp. 529-548.
- Cadwallader, M. T. (1986), "Structural Equation Models of Migration: An Example from the Upper Midwest USA", *Environment and Planning A*, vol. 17, pp. 101-113.
- (1992), *Migration and Residential Mobility: Macro and Micro Approaches*, Madison, WI, The University of Wisconsin Press.
- Cebula, R. J. (1979), *The Determinants of Human Migration*, Lexington, Massachusetts, Lexington Books.
- Clark, G. L. y K. P. Ballard (1980), "Modeling Outmigration from Depressed Regions: The Significance of Origin and Destination Characteristics", *Environment and Planning A*, vol. 12, pp. 799-812.
- y M. Gertler (1983), "Migration and Capital", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 73, pp. 18-34.
- Clark, W. A. V. (1982), "Recent Research on Migration and Mobility: A Review and Interpretation", *Progress and Planning*, vol. 18, parte 1, Oxford, Pergamon Press.

(1978) y Lloyd y Dicken (1977): "no tendría valor un modelo que representara la realidad en detalle, porque entonces sería la realidad misma".

- y K. White (1990), "Modeling Elderly Mobility", *Environment and Planning A*, vol. 22, pp. 909-924.
- Clayton, C. (1977), "The Structure of Interstate and Interregional Migration, 1965-1970", *Annals of Regional Science*, vol. 11, pp. 109-122.
- Cloke, P., C. Philo y D. Sadler (1991), *Approaching Human Geography: An Introduction to Theoretical Debates*, Londres, Paul Chapman Publishing.
- Conapo (1988), *Características principales de la migración en las grandes ciudades del país; resultados preliminares de la Encuesta Nacional de Migración en Áreas Urbanas (ENMAU), 1986-1987*, México, Dirección General de Estudios de Población/Dirección de Investigación Demográfica (Serie de Estudios Prospectivos).
- Congdon, P. (1988), "Modelling Migration Flows between Areas: An Analysis for London Using the Census and OPCS Longitudinal Study", *Regional Studies*, vol. 23, núm. 2, pp. 87-103.
- Corona, R. (1993), "Migración permanente interestatal e internacional, 1950-1990", *Comercio Exterior*, vol. 43, pp. 750-762.
- y J. R. Luque (1992), "Cambios recientes en los patrones migratorios a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 7, núms. 2 y 3 (20-21), pp. 575-586.
- De Jong, G. (1981), "The Impact of Regional Population Redistribution Policies on Internal Migration: What We Learn from the Netherlands and Great Britain", *Social Science Quarterly*, vol. 62, pp. 313-332.
- Drewe, P. (1980), "The Netherlands", reporte de investigación, RR-80-13, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (Migration and Settlement, 5).
- Echenique, M. (1994), "Urban and Regional at the Martin Centre: Its Origins, its Present, its Future", *Environment and Planning B*, vol. 21, pp. 517-534.
- Ewing, G. (1986), "Spatial Patterns in Distance-Deterrence Parameters and Fotheringham's Theory of Competing Destinations", *Environment and Planning A*, vol. 18, pp. 547-551.
- Flowerdew, R. (ed.) (1982), *Institutions and Geographical Patterns*, Nueva York, St. Martin Press.
- y J. Salt (1979), "Migration between Labor Market Areas in Great Britain 1970-71", *Regional Studies*, vol. 13, pp. 211-231.
- Foot, D. (1978), "Urban Models I y II: A Computer Program for the Garin-Lowry Model", documento de trabajo, Reding, UK, Department of Geography, University of Reding (Geographical Papers, 65).
- (1981), *Operational Urban Models*, Londres, Methuen.
- Fotheringham, A. S. (1981), "Spatial Structure and Distance-decay Parameters", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 71, pp. 425-436.
- (1983), "A New Set of Spatial-Interaction Models: The Theory of Competing Destinations", *Environment and Planning A*, vol. 15, pp. 15-36.
- (1983b), "Some Theoretical Aspects of Destination Choice and their Relevance to Production-constrained Gravity Models", *Environment and Planning A*, vol. 15, pp. 1121-1132.

- (1984), "Spatial Flows and Spatial Patterns", *Environment and Planning A*, vol. 16, pp. 529-543.
- (1985), "Spatial Competition and Agglomeration in Urban Modelling", *Environment and Planning A*, vol. 17, pp. 213-230.
- (1986a), "Modelling Hierarchical Destination Choice", *Environment and Planning A*, vol. 18, pp. 401-418.
- (1986b), "Further Discussion on Distance-Deterrence Parameters and the Competing Destinations Model", *Environment and Planning A*, vol. 18, pp. 553-556.
- y M. E. O'Kelly (1989), *Spatial Interaction Models*, Londres, Kluwer Academic Publishers.
- Carrocho, C. (1992), "El sistema urbano de México: organización, crecimiento y estructura funcional", *Estudios Territoriales* (España), pp. 115-137.
- (1992b), *Localización de servicios en la planeación urbana y regional: aspectos básicos y ejemplos de aplicación*, Toluca, El Colegio Mexiquense (Cuadernos de Trabajo).
- (1993), "Eficiencia, igualdad y equidad en la localización de los servicios de salud infantil del Estado de México", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 8, núm. 3 (24), pp. 601-640.
- (1994), "El efecto espacial de los cambios en las relaciones intersectoriales: una metodología de estimación", trabajo presentado en el Seminario Internacional sobre Economía Global y Ciudades Secundarias en México, 26-27 de mayo, Cuernavaca, México (mimeo.).
- (1995), "Cambios en la estructura funcional del sistema migratorio mexicano, 1980-1990", en G. A. Aguilar (ed.), *Desarrollo regional y urbano: tendencias y alternativas II*, México, UNAM/U. de G./Juan Pablos.
- (1995b), *Análisis socioespacial de los servicios de salud: accesibilidad, utilización y calidad*, Toluca, El Colegio Mexiquense/DIFEM.
- y A. Álvarez (1995), "Efectos del nuevo aeropuerto internacional en la estructura metropolitana de Toluca", *Comercio Exterior*, vol. 45, núm. 10, pp. 786-798.
- Giddens, A. (1984), *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structuration*, Cambridge, Polity Press.
- Gleave, D. y M. Cordey-Hays (1977), "Migration Dynamics and Labour Market Turnover", *Progress in Planning*, vol. 8, pp. 1-95.
- Golledge, R. (1980), "A Behavioral View of Mobility and Migration research", *The Professional Geographer*, vol. 32, pp. 14-21.
- y G. Rushton (1984), "A Review of Analytical Behavioral Research in Geography", en D. T. Herbert y R. J. Johnston (eds.), *Geography and the Urban Environment: Progress in Research and Applications*, Nueva York, Wiley, vol. 6, pp. 1-43.
- y H. Timmermans (1990), "Applications of Behavioral Research on Spatial Problems: 1. Cognition", *Progress in Human Geography*, vol. 14, pp. 57-99.

- Goodman, J. (1980), "Information Uncertainty and the Microeconomic Model of Migration Decision Making", en G. De Jong y R. Gardner (eds.), *Migration Decision Making* Londres, Pergamon.
- Gordon, P. (1979), "Deconcentration Without a Clean Break", *Environment and Planning A*, vol. 11, pp. 281-290.
- y J. Ledent (1981), "Towards an Interregional Demoeconomic Model", *Journal of Regional Science*, vol. 21, pp. 79-87.
- Gosh, A. y G. Rushton (eds.) (1987), *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*, Nueva York, Van Nostrand Reinhold.
- Graizbord, B. y C. Garrocho (1987), *Sistemas de ciudades: aspectos teóricos y operativos*, Toluca, El Colegio Mexiquense (Serie Cuadernos de Trabajo, 2).
- Graves, P. E. (1979), "A Life Cycle Empirical Analysis of Migration and Climate, by Race", *Journal of Urban Economics*, vol. 6, pp. 135-147.
- y P. Linneman (1979), "Household Migration: Theoretical and Empirical Results", *Journal of Urban Economics*, vol. 6, pp. 383-404.
- Greenwood, M. J., J. R. Ladman y B. S. Siegel (1981), "Long-term Trends in Migratory Behavior in a Developing Country: The Case of Mexico", *Demography*, vol. 18, pp. 369-388.
- Gregory, D. y Urry (eds.) (1985), *Social Relations and Spatial Structures*, Londres, Macmillan.
- Haggett, P., A. D. Cliff y A. Frey (1977), *Locational Analysis in Human Geography: Locational Models*, Londres, Edward Arnold.
- Harris, R. J. (1981), "Rewards of Migration for Income Change and Income Attainment, 1968-1973", *Social Science Quarterly*, vol. 62, pp. 275-293.
- Haynes, K. E. y A. S. Fotheringham (1984), *Gravity and Spatial Interaction Models*, Beverly Hills, California, Sage Publications.
- INEGI (1991), *XII Censo industrial, resultados definitivos. Resumen general*, México.
- (1991), *IX Censo de servicios, resultados definitivos. Resumen general*, México.
- (1991), *IX Censo comercial, resultados definitivos. Resumen general*, México.
- (1992a), *XIII Censo industrial, resultados definitivos. Resumen general*, México.
- (1992b), *XI Censo general de población y vivienda, 1990*, México.
- (1993), *X Censo de servicios, resultados definitivos. Resumen general*, México, presentado en la Conference on Population and Environment in Industrialized Regions, Varsovia, Polonia.
- Ishikawa, Y. (1987), "An Empirical Study of the Competing Destinations Model Using Japanese Interaction Data", *Environment and Planning A*, vol. 19, pp. 1359-1373.
- Izazola, H. y C. M. Marquette (1994), "Migration in Response to the Urban Environment: Out-migration by Middle Class Women and Their Families from Mexico City after 1985", trabajo presentado en la Conference on Population and Environment in Industrialized Regions, Varsovia, Polonia.

- Jin, Y. (1994), "The VETZ Transport Model: a Discussion of the Empirical Findings on Modal Split", *Environment and Planning B*, vol. 21, pp. 591-602.
- Juárez, E. (1993), "Interacción de mercados laborales municipales en el estado de Tabasco: una aproximación a través de modelos gravitatorios", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 8, núm. 1 (22), pp. 157-190.
- Kau, J. y C. Sirmans (1977), "A Recursive Model of the Spatial Allocation of Migrants", *Journal of Regional Science*, vol. 19, pp. 47-56.
- Kim, T. J., D. E. Boyce y G. Hewings (1983), "Combined Input-output and Commodity Flow Models for Interregional Development Planning: Insights from a Korean Application", *Geographical Analysis*, vol. 15, pp. 330-342.
- Kirk, W. (1963), "Problems of Geography", *Geography*, vol. 48, pp. 357-371.
- Lee, D. (1973), "Requiem for Large-scale Models", *Journal of the American Institute of Planners*, núm. 39, pp. 163-178.
- Leontief, W. y A. Strout (1963), "Multiregional Input-output Analysis", en T. Barna (ed.), *Structural Interdependence and Economic Development*, Londres, Macmillan.
- Lloyd, P. y P. Dicken (1977), *Location in Space: A Theoretical Approach to Economic Geography*, Londres, Harper and Row.
- Lowry, I. (1966), *Migration and Metropolitan Growth: Two Analytical Models*, San Francisco, California, Chandler.
- MacKinnon, R. D. (1975), "Controlling Interregional Migration Process of a Markovian Type", *Environment and Planning A*, vol. 7, pp. 781-792.
- y P. Rogerson (1980), "Vacancy Chains, Information Filters, and Interregional Migration", *Environment and Planning A*, vol. 12, pp. 649-658.
- McKay, J. y J. S. Whitelaw (1977), "The Role of Large Private and Government Organisations in Generating Flows of Inter-regional Migrants: The Case of Australia", *Economic Geography*, vol. 53, pp. 28-44.
- y J. S. Whitelaw (1978), "Internal Migration and the Australian Urban System", *Progress in Planning*, vol. 10.
- Myrdal, G. (1957), *Economic Theory and Underdeveloped Regions*, Londres, Duckworth.
- Negrete, M. E. (1990), "La migración a la ciudad de México: un proceso multifacético", *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 5, núm. 3 (15), pp. 641-653.
- Pahl, R. (1975), *Whose City*, Londres, Penguin.
- Partida, V. (1984), "Migración entre ocho regiones de México: 1955-1970", *Demografía y Economía*, vol. 18, pp. 378-409.
- (1994), *Migración interna*, INEGI, Aguascalientes, México.
- Pinch, S. (1985), *Cities and Services: The Geography of Collective Consumption*, Londres, Routledge and Kegan Paul.
- Poder Ejecutivo Federal (1995), *Programa Nacional de Población 1995-2000*, México.
- Polenske, K. R. (1972), "The Implementation of a Multiregional Input-output Model for the US", en A.P. Carter y A. Brody (eds.), *Contributions to Input-output Analysis*, Amsterdam, Elsevier-North Holland.

- Pred, A. (1974), "Major Job-providing Organizations and Systems of Cities", *Annals of the Association of American Geographers*, núm. 27, pp. 123-135.
- Putman, S. (1983), *Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use*, Londres, Pion.
- (1991), *Integrated Urban Models 2: New Research and Applications of Optimization and Dynamics*, Londres, Pion.
- Ravenstein, E. G. (1985), "The Laws of Migration", *Journal of Statistical Society*, vol. 48, pp. 167-227.
- Reilly, W. J. (1931), *The Law of the Tetail Gravitation*, Nueva York, Knickerbrocker.
- Rendón, E. (1992), "Migración poblacional de la zona ixtilera al área conurbada de Saltillo-Ramos Arizpe", en *Investigaciones sociodemográficas en algunas regiones de México*, Asociación Mexicana de Población, A.C./Organización de las Naciones Unidas.
- Richardson, H. W. (1978), *Regional and Urban Economics*, Londres, Penguin.
- Rogers, A. (1967), "A Regression Analysis of Interregional Migration in California", *Review of Economic and Statistics*, vol. 49, pp. 262-267.
- (1980), "Introduction to Multistate Mathematical Demography", *Environment and Planning A*, vol. 12, pp. 489-498.
- Rohr, C. e I. N. Williams (1994), "Modelling the Regional Economic Impacts of the Channel Tunnel", *Environment and Planning B*, vol. 21, pp. 555-568.
- Roseman, C. C. (1983), "A Framework for the Study of Migration Destination Selection", *Population and Environment: Behavioral and Social Issues*, vol. 6, pp. 151-165.
- Rushton, G. (1989), "Applications of Location Models", *Annals of Operations Research*, vol. 18, pp. 25-42.
- Saunders, P. (1979), *Urban Politics: A Sociological Interpretation*, Londres, Hutchinson.
- Short, J. R. (1978), "Residential Mobility", *Progress in Human Geography*, vol. 2, pp. 419-447.
- Simmons, J. (1979), "Migration in the Canadian Urban System", Center for Urban and Community Studies, University of Toronto, Toronto (Documento de Investigación, 112).
- Smith, D. M. (1975), *Patterns in Human Geography*, Londres, Penguin.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto) (1986), *X Censo general de población y vivienda, 1980*, México.
- Stilwell, J. C. H. (1978), "Interzonal Migration: Some Historical Tests of Spatial Interaction Models", *Environment and Planning A*, vol. 10, pp. 1187-1200.
- (1991), "Spatial Interaction Models and the Propensity to Migrate Over Distance", en J. Stilwell y P. Congdon (eds.) *Migration Models: Macro and Micro Approaches*, Londres, Belhaven Press, pp. 34-56.
- y P. Congdon (eds.) (1991), *Migration Models: Macro and Micro Approaches*, Londres, Belhaven Press.

- Tobler, W. (1981), "A Model of Geographical Movement", *Geographical Analysis*, vol. 13, pp. 1-20.
- Unikel, L., C. Ruiz y G. Garza (1976), *El desarrollo urbano de México*, México, El Colegio de México.
- Uribe, M. y A. Caso (1979), "Procesos migratorios interestatales: el caso de México (un enfoque econométrico)", *Demografía y Economía*, vol. 13, pp. 224-233.
- Vanzo, J. da (1980), "Micro Economic Approaches to Studying Migration Decisions", N-1201-NICHD, Santa Mónica, California, The Rand Corporation.
- Webber, M. J. (1984), *Explanation, Prediction and Planning: The Lowry Model*, Londres, Pion.
- White, S. E. (1980), "Awareness, Preference, and Interurban Migration", *Regional Science Perspectives*, vol. 10, pp. 71-86.
- Williams, I. N. (1994), "A Model of London and the South East", *Environment and Planning B*, vol. 21, pp. 535-544.
- Williams, P. R. (1978), "Urban Managerialism: A Concept of Relevance?", *Area*, vol. 10, pp. 236-240.
- Wilson, A. (1970), *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Londres, Pion.
- (1980), "Aspects of Catastrophe Theory and Bifurcation Theory in Regional Science", *Papers of the Regional Science Association*, vol. 44, pp. 109-118.
- y P. Rees (1974), "Accounts and Models for Spatial Demographic Analysis 2: Age-sex Disaggregated Populations", *Environment and Planning A*, vol. 6, pp. 101-116.
- y P. Rees (1977), *Spatial Population Analysis*, Londres, Arnold.
- y J. R. Bennett (1985), *Mathematical Methods in Human Geography and Planning*, Londres, Wiley.
- Woods, R. (1982), *Population Analysis in Geography*, Londres, Longman.

Apéndice metodológico

La puesta en operación del modelo se realiza en la siguiente forma:

- a) Se construye una matriz de distancias mínimas por carretera, de todos los orígenes a todos los destinos. Cada renglón de la matriz resultante se eleva a su parámetro de fricción de la distancia ("b"), que en esta primera iteración es igual a uno, lo que genera la matriz (C_{ij}^{-b}).
- b) La matriz de distancias potenciadas (C_{ij}^{-b}) se multiplica por el vector (O_i), que es la población emigrante de cada origen, con lo que se obtiene la matriz ($O_i C_{ij}^{-b}$).

c) La matriz $(O_i C^{-b}_{ij})$ se multiplica por el vector de los factores de atracción (W_j^n) . En esta primera iteración el parámetro "n" es igual a uno, con lo que se genera la matriz $(O_i W_j^n C^{-b}_{ij})$.

d) La matriz $(O_i W_j^n C^{-b}_{ij})$ se multiplica por el vector que representa la *competencia espacial* entre los destinos (D_j) , con lo que se obtiene la matriz $(O_i W_j^n C^{-b}_{ij} D_j)$.

e) A partir de la matriz $(O_i W_j^n C^{-b}_{ij} D_j)$ se estima el *factor de balance* (A_i) . Es decir, se calcula el inverso de la sumatoria de cada renglón de la matriz $(D_j W_j^n O_i C^{-b}_{ij})$ y el resultado se multiplica por cada uno de los valores del renglón al que corresponde cada A_i en la matriz $(O_i W_j^n C^{-b}_{ij} D_j)$. El resultado es la primera matriz que representa los flujos migratorios interestatales: $F_{ij} = A_i O_i W_j^n C^{-b}_{ij} D_j$, y se cumple la restricción:

$$O_i = \sum_j F_{ij}$$

f) Se repite el procedimiento probando nuevos valores del parámetro "b" (manteniendo el valor del parámetro "n" igual a uno) hasta que se minimice la diferencia entre los valores de migración observados y los calculados.

g) Se repite el procedimiento probando nuevos valores del parámetro "n" hasta que se minimice la diferencia entre los valores de migración observados y los calculados. El valor del parámetro "b" que se obtuvo en el paso "f" se mantiene constante.

h) Se sustituye el valor de W_{jo} por $(W_{jo} (F_{ijr}/F_{ijo}))$ –la comilla de W_{jo} indica que se toma el valor resultante de cada iteración– hasta que los flujos reales sean iguales a los calculados.