LOS MODELOS EN GEOGRAFÍA

Por Josefina Morales

Este trabajo es una presentación de un método de estudio: la construcción de modelos. Está basado fundamentalmente en los trabajos de los geógrafos ingleses, que han desarrollado ampliamente la geografía cuantitativa como lo demuestran el número de publicaciones al respecto. A pesar de que los modelos se empezaron a utilizar desde hace tiempo en geografía y en general en todas las ciencias,* es últimamente cuando han despertado un gran interés en el campo de las ciencias sociales, llegando a convertirse en el lenguaje científico de moda.

En estas publicaciones, como en la mayoría de las publicaciones geográficas actuales, se habla de la "revolución cuantitativa" que ha sufrido la geografía en los últimos diez años. Revolución que ha sido adoptada a veces con gran entusiasmo y total adhesión a ella, otras en alguna forma crítica con una aceptación parcial o con cierto recelo por las extrapolaciones a las que puede llegar, sin excluir la posibilidad de olvidarse de la geografía. Esta actitud es infundada, ya que los investigadores están conscientes de los "peligros" a que puede llevarlos un uso irracional de las nuevas técnicas de investigación (generalmente matemáticas: computación, teoría de la información, etcétera) que se han desarrollado, por lo que advierten al futuro usuario las consecuencias que pueden tener como mala interpretación de la información, provocada por un manejo de la información en un nivel muy tecnificado olvidando el punto de vista geográfico.

* En el sentido más amplio todo es un "modelo", pues "al nivel más elemental un modelo no es más que una abstracción de la realidad".³

Los investigadores que trabajan con modelos han dado numerosas —y a veces contradictorias— definiciones y clasificaciones de los mismos. Los modelos se han definido como representación, abstracción, estructura, sistema, etcétera, al mismo tiempo que se les ha clasificado de acuerdo con su objetivo en enumerativos** y normativos. "Los enumerativos están relacionados con alguna descripción estilística de la realidad y los normativos prevén lo que pudiera ocurrir bajo ciertas condiciones dadas";¹ de acuerdo al "material" del que están hechos, se han dividido en "construcciones instrumentales: físicas o experimentales y en modelos teóricos: simbólicos, conceptuales o mentales";² o se han agrupado de acuerdo a sus variables de entrada y salida. Estas clasificaciones han sido a su vez reclasificadas, obteniéndose así una gran diversidad de modelos.

El Dr. Eli de Gortari en la obra *El problema de la predicción en ciencias sociales* agrupa a los modelos utilizados en las ciencias en: físicos y dialécticos, dando la definición de ambos. "Un modelo físico es un mecanismo artificial análogo a un mecanismo existente o proyectado, o bien, un sistema de procesos existentes o hipotéticos, en el cual se ponen al descubierto nuevas propiedades del mecanismo o sistema que sirve como original, con base en el funcionamiento del modelo. Un modelo dialéctico es un sistema lógico, descrito en un lenguaje preciso (que puede ser el lenguaje matemático), que es análogo a un sistema de procesos existentes o hipotéticos,

** En inglés *descriptives*, que se ha traducido por enumerativos porque el término descripción es fundamental para su definición.

en el cual se ponen de manifiesto otras propiedades posibles de los procesos del sistema original.”⁴

A pesar de que esta definición y división de los modelos, como la mayoría de las que se han hecho, propone una nueva e interesante reclasificación, en este trabajo, que sólo es una breve introducción al estudio de los modelos y su posible utilización en geografía, se partirá de bases más elementales, entendiéndose que un modelo, como dice Richard J. Chorley “encierra un fenómeno más simplificado, accesible, observable, más controlado, rápidamente desarrollable o de fácil formulación, a partir del cual pueden deducirse conclusiones, que a su vez pueden ser reaplicadas al sistema original o mundo real”.⁵

Por lo tanto, tomaremos como definición de modelo la siguiente: Un modelo es una representación simplificada de un fenómeno que permite la fácil observación y el mejor control de sus elementos fundamentales y de las interacciones que hay entre ellos.

Antes de hablar de la clasificación de los modelos geográficos y del uso que se ha hecho de ellos, se darán a conocer algunas generalidades sobre la construcción de los modelos y sus objetivos.

Se aclararán primero dos términos —modelo y analogía— que frecuentemente se emplean como sinónimos, debido a que el modelo implica en sí un razonamiento profundamente analógico al suponer una semejanza entre su funcionamiento y el del fenómeno real: “en general, puede decirse que dos cosas —sean eventos, situaciones, creaturas u objetos— son análogas si se parecen una a la otra en alguna extensión de sus propiedades, conductas o modos de funcionar”.⁶ Aquí se restringirá sin embargo, el uso de la palabra analogía para referirse a un tipo específico de modelo: modelos análogos, aceptando la distinción que hacen John P. Cole y Cuchlaine A. M. King, entre uno y otra.⁷ En el modelo se utilizan réplicas o símbolos del fenómeno estudiado como características del mismo; mientras que en la analogía las características que se comparan —entre el fenómeno real y la analogía misma— sólo tienen un grado de semejanza mínimo.

El objetivo del modelo es en primer lugar la explicación del mecanismo de funcionamiento del fenómeno estudiado, lo que permite que se cumpla uno de los fines fundamentales de las ciencias, pues se está entonces en posibilidad de predecir el comportamiento futuro, ya sea natural o provocado por alguna alteración consciente, del fenómeno. Por esto, el uso de algunos modelos en geografía ayuda a los geógrafos a entrar más ampliamente a la planeación.

A primera vista la realidad geográfica se presenta, en términos de la teoría de la información, como una “masa ruidosa” de información, es decir, como una información caótica. Bajo este aparente desorden existe una estructura organizada que no puede ser observada y estudiada con facilidad, debido, generalmente, a una sobreinformación que la confunde, presentándose lo que se llama “ruido”.^{*} Al buscar esta estructura organizada, lo primero que se hace es una selección de la información. Para que esta selección no sea solamente subjetiva y arbitraria, lo que produciría una terrible cantidad de ruido —deformaría la información al depender exclusivamente del criterio, experiencia y suerte del investigador—, es necesario partir de un marco teórico de referencia, aunque éste sea incluso el azar, obteniéndose así una selección menos ruidosa. Algunos de los “peligros” más importantes de los modelos, pueden ser resultado de esta selección.

Richard J. Chorley y Peter Haggett dicen que la simplificación implícita de los modelos puede llevar a “estructurar correlaciones falsas; sugerir predicciones impropias; aproximaciones irreales y analogías que den saltos injustificables dentro de diferentes dominios”.⁸

Si se ha seleccionado la información adecuada se tendrá como resultado una realidad simplificada, donde se ha descartado información irrelevante y entonces puede establecerse lo que Richard J. Chorley llama “un modelo conceptual”, es decir, aquel donde la realidad ha sido reducida a “una condición donde las simetrías y relaciones fundamentales quedan expuestas para ser definidas y poderse someter a otro tratamiento”¹⁰ que permite generalmente, hacer predicciones en cuanto al funcionamiento futuro del sistema.

La siguiente clasificación general de los modelos que se emplean en geografía se ha tomado de uno de los trabajos más claros y precisos sobre el tema, en el que se presenta además un modelo teórico para la construcción de modelos, que es el realizado por Richard J. Chorley en *Geography and Analogue Theory*. Los ejemplos que se mencionan se han tomado de *Quantitative Geography* de J. P. Cole y C. A. M. King.

Los modelos utilizados en Geografía, que son a los que puede transformarse o transcribirse el modelo conceptual para su manipulación, pue-

* El “ruido” puede producirse bien por la eliminación de información que pueda eventualmente ser útil o bien por la introducción de información irrelevante.

den ser clasificados en matemáticos, experimentales o naturales.

Un *modelo matemático* es un modelo donde los elementos del fenómeno (variables) se representan y se trabajan matemáticamente. En la naturaleza de los modelos matemáticos está el poder predecir los futuros comportamientos del fenómeno estudiado, a partir de las condiciones iniciales dadas. Los modelos matemáticos se clasifican en deterministas y estocásticos. Los deterministas son aquellos en que no se utiliza la teoría de la probabilidad, y los que la utilizan en mayor o menor grado son los estocásticos o probabilísticos.

Se han empleado modelos matemáticos deterministas, principalmente en geografía física, para el estudio de problemas como la evolución de las vertientes o la acción fluvial. Un trabajo en el que se ha aplicado este tipo de modelo matemático es el de J. F. Nye (1957) sobre el movimiento de un glaciar.

Dentro de los modelos estocásticos pueden incluirse los modelos de simulación y los modelos operacionales de juegos. Los *modelos de simulación* presentan una situación probabilística al tener un margen de elecciones arbitrarias dentro de las condiciones establecidas. En geografía humana se ha aplicado en distribuciones y en procesos de difusión, basándose en la elección de números al azar. Los *modelos operacionales de juego* tienen una cierta relación con la teoría matemática de juegos, pero de ninguna manera son lo mismo; "un juego operacional es un modelo de simulación que depende básicamente, para su buen funcionamiento, de las decisiones humanas, y por lo tanto, más de la habilidad que del azar".¹¹ Un ejemplo es el juego diseñado por H. Stafford para elegir la localización de una fábrica metalúrgica en una de 25 ciudades de Estados Unidos.

Los *modelos experimentales* son estructuras tangibles, físicas, que representan al modelo conceptual. Se clasifican en modelos a escala y modelos análogos.

Los *modelos a escala* son generalmente estáticos y son una réplica bastante exacta del original; un ejemplo de este tipo de modelos es una construcción tridimensional que muestre la estructura geológica. También puede considerarse un mapa como un modelo a escala muy simplificado. Los modelos a escala sirven para hacer una presentación más clara del problema.

Los *modelos experimentales análogos* "implican un cambio radical en el medio en el cual está construido el modelo"¹² y su objetivo es reproducir solamente una parte del problema. Esto facilita el estudio de una sola variable, al permitir un mejor control, físico, de las otras.

Un ejemplo de este tipo de modelos es el modelo Mersey, para estudiar las mareas, realizado por la Estación de Investigaciones Hidráulicas de Wellingford.

Los *modelos naturales* son los obtenidos por medio de "traslaciones a alguna circunstancia natural análoga que se considera más simple, mejor conocida o más observable".¹³

Los modelos naturales se dividen en históricos y análogos. Los *modelos naturales históricos* implican una traslación en el tiempo y/o en el espacio.

En los *modelos naturales análogos* la traslación implícita se dirige hacia un medio natural diferente; así los procesos físicos por ejemplo, pueden emplearse como analogías para procesos de geografía humana, o los procesos biológicos pueden proporcionar ideas relacionadas con procesos físicos, etcétera. Estos modelos implican un conocimiento muy profundo de los dos campos, además de ser traslaciones generalmente ruidosas y profundamente analógicas que sólo demostrarán su validez con su buen funcionamiento, como todos los modelos.

Los modelos naturales análogos podrían clasificarse en matemáticos o experimentales, pero se ha preferido dejar la clasificación de Chorley, porque su característica principal consiste en su analogía con otros campos y no en su naturaleza matemática o experimental. Un ejemplo de un modelo natural análogo usado en geografía es la deformación de una capa de hielo que representa la deformación de la corteza terrestre.

Ésta ha sido una breve y amplia visión de los modelos y su empleo en geografía. Se verá ahora un ejemplo de un modelo natural análogo para ilustrar su funcionamiento.

Aplicación del modelo gravitacional

El modelo gravitacional es un modelo natural análogo obtenido de la física para estudiar las posibilidades de transacción entre dos lugares. Ha sido usado con acierto en Inglaterra y en Estados Unidos; uno de sus principales empleos es en la localización de nuevos lugares para industrias, ciudades, etcétera. Este modelo se utilizó en el trabajo de Hansen *How Accessibility Shapes Land Use* * —estudio de las distribuciones de las áreas metropolitanas para dar una estimación del crecimiento residencial— para definir el concepto de "acceso" de una zona a otra. Aquí se empleará para estudiar las posibilidades de transacciones: cualquier interacción entre la po-

* Citado por Stuart Chapin Jr. en *Urban Land Use Planning*, p. 478.

blación de un lugar y otro —entre la capital del Estado de México, Toluca, y las cabeceras municipales del mismo Estado.

El modelo gravitacional en geografía es el resultado de la traslación de una ley física, la ley de atracción entre dos cuerpos de Newton, al campo de la geografía humana, con las correspondientes transformaciones de los elementos que en ella intervienen.

La ley de Newton dice que la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.

$$F = \frac{M_1 \times M_2}{r_{12}^2}$$

Al hacer la analogía de la geografía se hacen las siguientes transformaciones:

F = fuerza. —————→ T = transacciones.
M₁ = masa de un —→ P₁ = población del
cuerpo. primer lugar.
M₂ = masa de otro —→ P₂ = población del
cuerpo. segundo lugar.
r₁₂ = distancia entre —→ r₁₂ = distancia entre
los cuerpos. los dos lugares.

quedando entonces:

$$T \approx \frac{P_1 \times P_2}{r_{12}^2}$$

o

$$T = k \frac{P_1 \times P_2}{r_{12}^2}$$

con

k = constante de proporción.

A pesar de que estas transformaciones son las más obvias se hacen para tener resultados teóricos que puedan ser comparados después con resultados obtenidos de datos experimentales, principalmente trabajo de campo, en los que podría sustituirse, con mayor acierto probablemente, la distancia entre los dos lugares por el tiempo que se tarda en recorrer esa distancia o por el precio del transporte. Investigándose por otra parte si el exponente de la distancia (r) es exactamente dos; en el trabajo de Hansen por ejemplo, se encontró que para la ciudad de Washington el valor del exponente de r, para el acceso residencial a las áreas de empleo, es de 2.7. De esta comparación y de su compro-

bación experimental se puede obtener el grado de exactitud del modelo empleado.

Los resultados que se obtienen en este trabajo son relativos en el sentido en que sólo establecen cuál es el lugar que tiene mayor probabilidad de transacción, además de ser absolutamente teóricos, no sólo por las restricciones anotadas en el párrafo anterior, sino porque se ha considerado al Estado de México como una entidad totalmente aislada, cuando se sabe que una de sus principales características es su interacción con la ciudad de México.

Con todas las reservas anteriores y algunas limitaciones que se dan a continuación, se procederá a aplicar el modelo a algunos municipios del Estado de México.

Limitaciones

I. Se tomará íntegramente la fórmula, quedando:

$T = k \frac{P_1 \times P_2}{r_{12}^2}$ con P = 77 124, que es la población de Toluca.

II. El valor de la constante de proporción será de K = 1/1000 por estar dada la población en miles de habitantes.

III. No se presentarán todos los resultados.

Los datos de población que se usaron fueron obtenidos del VIII Censo General de Población del Estado de México, 1960, y las distancias entre Toluca y las distintas cabeceras municipales, del mapa de carreteras de la Secretaría de Obras Públicas para el Estado de México, actualizado a 1967.

De los 119 municipios que forman el Estado se eliminaron 7, uno por ser Toluca, lugar con el que se van a medir las interacciones y los otros 6 por no poder establecerse con exactitud su distancia a Toluca.

Una vez reunidos los datos, se procedió a sustituirlos en la fórmula a través de un programa de computación en lenguaje algol, que permitió obtener los resultados con gran facilidad.

Como ya se dijo en la limitación III, no se presentarán todos los datos porque la intención de este trabajo es sólo ilustrar el funcionamiento del modelo, para lo cual nos bastan unos cuantos ejemplos. Por ello se han escogido los lugares cuyas transacciones pasan de 100, quedando así sólo 24 municipios. Se apunta sin embargo, que la mayoría de los municipios se concentró entre 50-10.

Datos y breve análisis de los resultados

Datos (tabla 1)

Nombre del lugar	Habitantes	Distancia (km)
1. Almoloya de Juárez	976	18
2. Almoloya del Río	3387	15
3. Capulhuac de Mirafuentes	3639	27
4. Chapultepec	1272	15
5. Huixquilucan	2434	40
6. Ixtlahuaca de Rayón	1607	35
7. Jalatlaco	3409	34
8. Jiquipilco	8757	31
9. Jocotitlán	4922	52
10. Lerma de Villada	2376	14
11. Metepec	6655	8
12. Mexicalcingo	2736	12
13. Naucalpan de Juárez	10365	63
14. Ocoyoacac	4135	20
15. Otzolotepec	2701	19
16. Rayón	2162	20
17. San Antonio la Isla	1504	18
18. San Mateo Atenco	7293	12
19. Temoaya	2840	21
20. Tenancingo	9320	49
21. Tenango de Arista	7685	25
22. Tianguistenco de Galeana	3334	28
23. Tlalnepantla	25868	72
24. Zinacantepec	4962	10

Si sustituimos en la fórmula arriba mencionada los datos de la tabla anterior, obtenemos los siguientes resultados (tabla 2), que se presentan en orden decreciente de probabilidad de transacción.

Tabla 2

Nombre del municipio	Probabilidad de transacción T
	$T = 1/1000 \frac{77124 \times P2}{r_{12}^2}$
Metepec	8019.690
San Mateo Atenco	3906.009
Zinacantepec	3826.892
Mexicalcingo	1465.256
Tenango de Arista	948.316
Lerma de Villada	934.931
Ocoyoacac	797.269

Jiquipilco	702.783
Capulhuac de Mirafuentes	691.365
Otzolotepec	577.041
Temoaya	496.671
Chapultepec	436.007
Rayón	416.855
Tlalnepantla	384.671
San Antonio la Isla	358.007
Tianguistenco de Galeana	327.973
Tenancingo	299.373
Almoloya de Juárez	232.324
Jalatlaco	227.435
Almoloya del Río	213.408
Naucalpan de Juárez	201.408
Jocotitlán	140.386
Xuixquilucan	117.324
Ixtlahuaca de Rayón	101.174

Por otro lado, si se ordenan los municipios de mayor a menor población se presenta el siguiente arreglo; donde el número indica el lugar del municipio en la tabla 1, en la que se presentaron por orden alfabético:

23, 13, 20, 8, 21, 18, 11, 3, 24, 9, 14, 7, 2, 22, 19, 12, 15, 5, 10, 16, 6, 17, 4, 1.

Al ordenar los municipios en función creciente de la distancia a la capital del Estado, se tiene:

11, 24, 18, 12, 10, 4, 1, 17, 15, 16, 14, 19, 21, 3, 22, 8, 7, 2, 6, 5, 20, 9, 13, 23.

Si se analiza comparativamente la tabla 2 con los dos arreglos anteriores se observa que Metepec, que es el lugar más cercano a Toluca (8 km), con una población de 6655 habitantes—cuarto lugar en el arreglo de población— tiene la mayor probabilidad de transacción. Esta probabilidad es muy alta dado que representa un poco más del doble de la que le sigue, que corresponde al municipio de San Mateo Atenco con 7293 habitantes y con una distancia de 12 km a la capital (tercer lugar en el arreglo de distancias). Si se sigue analizando en forma análoga cada uno de los datos, se puede concluir lo siguiente:

1. El orden de los municipios en los resultados es aproximadamente el que presentan los mismos en el arreglo de distancias.

2. Como consecuencia de lo anterior se obtiene, que el factor decisivo en la probabilidad de transacción de los 24 municipios presentados del Estado de México, con respecto a la

capital del mismo, es la distancia que hay de ellos a Toluca.*

La aplicación del modelo así presentada sirve como base para encauzar una investigación de campo, que tenga por finalidad crear polos de atracción poblacional o bien la planificación del aprovechamiento de mano de obra, fuentes de trabajo, medios de comunicación existentes, y en fin todos los recursos de un lugar que complementen los existentes en el otro lugar de referencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peter Hagget y Richard J. Chorley. "Models, Paradigms and the New Geography", en *Integrated Models in Geography*, University paperbacks, Londres, Methuen & Co. Ltd., 1969, p. 25.
2. *Op. cit.*, p. 25.
3. David Grigg. "Regions, Models and Classes", en *Integrated Models in Geography*, University paperbacks, Londres, Methuen & Co. Ltd., 1969, p. 495.
4. Eli de Gortari. *El problema de la predicción en ciencias sociales*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1969, p. 9.
5. Richard J. Chorley. "Geography and Analogue Theory", en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 54, núm. 1, marzo 1964, p. 128.
6. A. W. Ross. *Approximate Methods in Operational Research*, Proc. Ist. Int. Conf. on Operational Research, Oxford English University Press, 1958, p. 58, citado por Richard J. Chorley en *Geography and Analogue Theory*, p. 128.
7. John P. Cole y Cuchlaine A. M. King. *Quantitative Geography, Techniques and Theories in Geography*, Londres, John Wiley & Sons, Ltd., 1968, pp. 497-518.
8. Peter Hagget y Richard J. Chorley. "Models, Paradigms and the New Geography", en *Integrated Models in Geography*, University paperbacks, Londres, Methuen & Co. Ltd., 1969, p. 26.
9. Richard J. Chorley. "Geography and Analogue Theory", en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 54, núm. 1, marzo, 1964, pp. 127-138.
10. *Op. cit.*, p. 131.
11. John P. Cole y Cuchlaine A. M. King. *Quantitative Geography, Techniques and Theories in Geography*, Londres, John Wiley & Sons, Ltd., 1968, pp. 511-512.
12. Richard J. Chorley. "Geography and Analogue Theory", en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 54, núm. 1, marzo, 1964, p. 134.
13. *Op. cit.*, p. 135.

* El hecho de que el factor decisivo haya sido la distancia y no la población se debe quizás, a que las poblaciones comparadas no fueron del mismo orden; la población de Toluca es del orden de 10^4 y la de los otros municipios de 10^3 .