

LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE INTERACCIÓN ESPACIAL AL ESTUDIO DE LOS FLUJOS MIGRATORIOS A ESCALA REGIONAL

José Miguel SANTOS PRECIADO
Universidad Nacional de Educación a Distancia

RESUMEN: Los modelos de interacción espacial han experimentado un auge espectacular, por su capacidad para dar respuesta -explicativa e incluso predictiva- a la problemática del análisis de los flujos migratorios interregionales en un territorio determinado.

El trabajo de investigación que presentamos pretende contribuir a la determinación de los factores básicos (distancia, contigüidad espacial, características de los lugares de origen y destino, etc.), explicativos de los flujos migratorios, habidos entre las comunidades autónomas españolas, analizando el fenómeno desde una perspectiva dinámica.

ABSTRACT: Models of spatial interaction have experienced spectacular success, due to their ability to provide an answer, an explanation and even a forecast, to the problems of analysing the flow of migration from one region to another, in a given territory.

The research paper which we present aims to contribute to the determination of the fundamental factors (distance, nearness, characteristics of the place of origin and destination, etc.) which explain the flow of migration which have arisen between spanish regional communities, analysing the phenomenon from a dynamic perspective.

INTRODUCCIÓN.

La interacción espacial puede ser definida "como las relaciones de movimiento - de personas y bienes- y comunicación - de ideas e información- que tienen lugar en el espacio, como consecuencia de un complejo proceso de toma de decisiones" (FOTHERINGHAN Y O'KELLY, 1987). El término puede ser aplicado en diversos campos de la ciencia regional, donde el comportamiento de los individuos o grupos sociales sea decisivo en la magnitud alcanzada por determinados movimientos o flujos interactivos: migraciones interregionales, movimientos diarios de commuters, viajes por motivo de recreo o elección de

un determinado servicio público, llamadas de teléfono, movimientos de capitales, etc.

Los modelos interactivos regionales han sido utilizados con éxito en diversos campos de la ciencia regional: análisis de las redes de transporte, localización óptima de los servicios en la ciudad, etc. En el campo de la Demografía, su aplicación al estudio de las migraciones interregionales o interurbanas ha permitido identificar los determinantes básicos que explican la diferenciación espacial de éste tipo de flujos poblacionales.

El trabajo que presentamos pretende contribuir al estudio de los movimientos migratorios interregionales del territorio español, empleando los datos correspondientes a los flujos migratorios entre las comunidades autónomas, tal como han sido definidas territorialmente por la Constitución española de 1978, durante los años 1970 y 1990. El objetivo planteado ha sido, por tanto, múltiple: conocer los factores fundamentales que explican los movimientos migratorios en nuestro país, desde una perspectiva histórica.

LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LA INTERACCIÓN ESPACIAL.

El origen de cualquier modelo de interacción espacial es el resultado del sistema: una matriz rectangular de flujos, entre los "m" lugares de origen y los "n" lugares de destino.

Los modelos de interacción espacial implican que los valores de los flujos T_{ij} , entre un elemento emisor "i" y un elemento receptor "j", son la consecuencia de tres tipos de factores:

a) El primero está relacionado con la fricción espacial. Parece lógico suponer que la mayor o menor dificultad en establecer la relación, como consecuencia de la localización relativa en el espacio, sea determinante en el valor de la interacción. La forma de medir la resistencia del espacio al movimiento puede ser variada: el costo de desplazamiento, el tiempo de desplazamiento o la distancia. De los tres tipos de medida, la última es la más utilizada.

La distancia euclideana representa la distancia en línea recta y se adecúa mejor al nivel de la escala interurbana, mientras que la distancia rectangular lo hace en el nivel de la escala intraurbana.

De forma general, la matriz C_{ij} contendría los valores de la fricción espacial existentes entre cada par de elementos interactivos, "i" y "j".

b) Un segundo tipo de variables, v_{ij} , está relacionado con las características

o atributos de los lugares de origen y su capacidad para impulsar el movimiento. Si continuamos refiriéndonos al ejemplo de los movimientos migratorios, este tipo de variables representaría el rechazo del medio y su papel determinante en la toma de decisión de emigrar. Si suponemos la influencia de "p" factores, la matriz V estaría integrada por los valores de los mismos, correspondientes a los "m" lugares de origen.

c) Finalmente, el tercer tipo de variables, w_{ij} , estaría relacionado con los factores de atracción de los lugares de destino. En el caso de los movimientos migratorios, este tipo de variables representaría el nivel de desarrollo de los elementos de recepción y su capacidad de influir en el proceso de toma de decisiones del cambio permanente de residencia. Si suponemos la influencia decisiva de "q" factores, la matriz W estaría integrada por los valores de los mismos, correspondientes a los "n" lugares de destino.

La expresión más general de la formalización matemática existente entre los flujos interactivos y los factores determinantes de la misma C_{ij} , v_i y w_j sería:

$$T_{ij} = f(\alpha_1 v_{i1}, \alpha_2 v_{i2}, \dots, \alpha_p v_{ip}; \beta_1 w_{1j}, \beta_2 w_{2j}, \dots, \beta_q w_{qj}; \gamma c_{ij})$$

siendo , α y γ los parámetros de la relación.

La relación funcional puede ser diferente para cada tipo de variable. Está bastante generalizada la opinión de que los factores v_i y w_j se ajustan mejor a funciones de carácter potencial, mientras que la fricción espacial C_{ij} lo hace tanto con este tipo de funciones, como exponencial:

$$\begin{aligned} f(\alpha v_i) &= v_i^\alpha \\ f(\beta w_j) &= w_j^\beta \\ f(\gamma c_{ij}) &= c_{ij}^\gamma \quad \text{o} \quad e^{-\gamma c_{ij}} \end{aligned}$$

Tipos de modelos. Técnicas de minimización de la información.

Los modelos matemáticos se elaboran, en general, con la finalidad de formalizar las relaciones existentes en el mundo real. Dos objetivos fundamentales están en la base de su utilización: la explicación y la predicción.

Refiriéndonos a los modelos de interacción espacial, el carácter explicativo de los mismos reside en la estimación o calibración de los parámetros, que permita una más adecuada correspondencia de la información empírica respecto a la formulación teórica del modelo. Por su parte, la utilización de los modelos interactivos con carácter predictivo plantea la deducción de los flujos de interrelación a partir de factores de impulsión o atracción ya conocidos.

En el campo de la explicación, tres tipos de modelos diferentes existen. En primer lugar, podemos destacar los denominados "no restrictivos", que presuponen el conocimiento de los atributos de los elementos de origen y de destino. Junto a ellos, se encontrarían los modelos con "restricción de origen" y "restricción de destino", según poseyéramos información exclusiva de las características de los elementos impulsores o de atracción. El cuarto tipo de modelo: "doblemente restrictivo" contiene un propósito fundamentalmente predictivo y busca obtener, precisamente, los flujos de correspondencia existentes entre los lugares de origen y destino.

Los modelos elaborados y actualmente en uso contienen las restricciones ya apuntadas, a la par que introducen conceptos de optimización en la línea de la maximización de la entropía (SHANNON, 1948) y/o minimización de la información (EVANS, 1969). El resultado son distintas familias de modelos matemáticos cuya formulación expresamos a continuación:

Modelos no restrictivos

$$T_{ij} = v_i^\alpha w_j^\beta \exp(-\gamma d_{ij})$$

Modelos de restricción de origen

$$T_{ij} = A_i O_i \exp(-\gamma d_{ij})$$

siendo
$$A_i = \frac{1}{\sum_i \exp(-\gamma d_{ij})}$$

Modelos de restricción de destino

$$T_{ij} = B_j D_j \exp(-\gamma d_{ij})$$

siendo
$$B_j = \frac{1}{\sum_j \exp(-\gamma d_{ij})}$$

Modelos doblemente restrictivos

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\gamma d_{ij})$$

siendo
$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j \exp(-\gamma d_{ij})}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i \exp(-\gamma d_{ij})}$$

LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE INTERACCIÓN ESPACIAL AL ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS MIGRATORIOS INTERREGIONALES EN ESPAÑA.

El objetivo de nuestra investigación tiene un carácter fundamentalmente explicativo y no predictivo. Se trata de aplicar el modelo de interacción espacial a las matrices de flujos migratorios interregionales (comunidades autónomas), habidas en nuestro país, en dos momentos claramente diferenciados en su dinámica demográfico-territorial: el periodo del desarrollismo económico (año 1970) y el momento actual (año 1990).

La base empírica. La medida de las principales variables explicativas del modelo de interacción espacial.

El primer paso de la investigación ha consistido en la recogida y transformación de la información empírica precisa para la aplicación del modelo de interrelación espacial. Los componentes del sistema interactivo migratorio han sido las diecisiete comunidades autónomas, tal como han quedado definidas

tras la nueva reorganización administrativa del territorio español. Las variables que necesitábamos para la validación del modelo general, referidas a los años 1970 y 1990, eran las siguientes:

- Matriz de flujos migratorios anuales entre comunidades autónomas.
- Matriz de distancias euclidianas relativas, entre las mismas unidades.
- Vectores de información de determinadas variables o atributos, representativos de la atracción de los lugares de destino o de la impulsión desde los lugares de origen.

Los valores correspondientes a la matriz de los flujos migratorios del año 1990 se han obtenido directamente del Anuario Estadístico del INE, relativo al año de referencia. La fuente de información del año 1970 ha sido la misma, aunque hemos debido comprimir la matriz de flujos migratorios entre las provincias españolas (de dimensión 50 x 50), en otra más reducida, relativa a las unidades de la escala regional actual.

El cálculo de las distancias lo hemos resuelto, calculando, en primer lugar, de forma ponderada por el volumen de población, los centros de gravedad (longitud y latitud) de cada una de las diecisiete comunidades autónomas del territorio español, para en una fase posterior, obtener la matriz de distancias relativas entre cada dos puntos, resolviendo trigonometricamente los triángulos esféricos delimitados entre cada dos centros gravitatorios y el Polo Norte.

Finalmente, hemos seleccionado la información de algunas variables que consideramos han podido influir decisivamente en la magnitud de los flujos migratorios interregionales: la jerarquía urbana (medida por el volumen de la población), los factores de rechazo de los lugares de origen (medidos por el porcentaje de población activa agraria) y los factores de atracción de los lugares de destino (medidos por el porcentaje de la población industrial y nivel de los salarios).

La capacidad explicativa de los modelos de interacción espacial. La aplicación del modelo no restrictivo.

La aplicación del marco teórico de la interacción espacial al estudio de los movimientos migratorios ha estado orientada, desde los tres tipos de modelos fundamentales: "no restrictivos", "restrictivos" (de origen o de destino) y "doblemente restrictivos". El primero de ellos ha sido empleado en numerosos análisis e investigaciones (CLARK Y BALLARD, 1980; LOVETT, WHYTE Y WHYTE, 1985; FLOWEREW Y SALT, 1979; etc.) con el objeto de explicar el

papel desempeñado por los atributos de los lugares de impulsión y atracción en el resultado final de los flujos migratorios.

Este modelo, como ya adelantamos en alguno de los apartados precedentes, presenta la siguiente formulación matemática:

$$T_{ij} = k v_i^\alpha w_j^\beta c_{ij}^{-\gamma}$$

Conocidos los valores de los flujos migratorios T_{ij} , así como la variable representativa de la fricción espacial, C_{ij} , y los factores de atracción y rechazo, V_i y W_j , el problema que se plantea es el de calibrar el modelo, obteniendo los valores de los parámetros α y γ , que mejor se ajustan al tipo de relación prevista.

La transformación del modelo descrito en una relación lineal permite calibrar el modelo mediante la aplicación de la técnica de regresión múltiple. Esta circunstancia se logra con facilidad al tomar logaritmos (neperianos) en ambos miembros de la ecuación del modelo:

$$\ln T_{ij} = \ln k + \alpha \ln v_i + \beta \ln w_j - \gamma \ln c_{ij}$$

La respuesta de la información empírica al modelo lineal de referencia, en un caso concreto de análisis, constituye una buena prueba de la capacidad explicativa del modelo de interacción general. Así mismo, la comparación de los valores obtenidos por los distintos parámetros en dos momentos de tiempo diferentes, así como su nivel de ajuste al modelo, permite extraer o deducir conclusiones sobre la variación de la influencia de los diversos factores, en un estudio evolutivo del fenómeno migratorio.

La aplicación del modelo "no restrictivo" al análisis de la realidad española la hemos realizado en dos fases diferentes:

a) Introduciendo las variables determinantes del proceso migratorio, de forma progresiva, con el objeto de analizar individualmente la influencia de cada uno de los factores (año 1990).

b) Comparando los valores relativos al modelo global, durante los años 1970 y 1990, con la finalidad de obtener una visión dinámica del proceso migratorio.

Influencia de los factores que condicionan la interacción espacial, relativa a un momento concreto en el tiempo (1990).

La investigación del fenómeno migratorio tiene una larga historia, que se remonta al siglo pasado (RAVENSTEIN, 1885 y 1889). Los principales presupuestos de esta temprana investigación condujeron al modelo gravitatorio de Newton:

$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}^{2\psi}}$$

donde P_i y P_j representan los volúmenes de población de los lugares de origen y destino, d_{ij} la distancia relativa entre ambos y T_{ij} el flujo migratorio resultante.

Tomando como punto de referencia este primitivo planteamiento, hemos comenzado aplicando el modelo de interacción espacial a las tres variables descritas, para a continuación, matizar los resultados por la introducción de una nueva variable b_{ij} , representativa de la contigüidad geográfica, mediante los valores de una variable dicotómica, cuyos valores fueran únicamente 0 o 1, según las unidades espaciales fueran contiguas o no. Las experiencias desarrolladas en este terreno de la investigación aconsejan el empleo de la relación funcional exponencial, en el lugar de la potencial, por lo que el modelo de la interacción espacial se convertiría en:

$$T_{ij} = K P_i^\alpha P_j^\beta d_{ij}^{-\gamma} e^{\lambda b_{ij}}$$

Finalmente, hemos introducido en el análisis los factores que podrían ser determinantes, por su capacidad de atracción, desde el lugar de destino (el desarrollo económico, medido por el porcentaje de población industrial I_j y el nivel de los salarios S_j) o de rechazo desde el lugar de origen (el bajo nivel de vida, medido por el porcentaje de población agraria A_i).

Los resultados del cuadro 1 muestran que la jerarquía urbana, medida por los volúmenes de población P_i y P_j , aparece como el factor determinante de los movimientos migratorios interregionales, siendo la contigüidad geográfica b_{ij} mucho más decisiva que la distancia euclídeana d_{ij} . El resto de los factores

muestra un bajo nivel de significación estadística, si exceptuamos aquel que representa al medio rural.

Cuadro 1. Ajuste del modelo de interacción espacial, mediante la técnica de regresión múltiple (1990).

Variable Dependiente	Constante y variables independientes	test F	Valor del parámetro	Nivel de significación
ln T _{ij}	k	-	-22,8957	0,0000
	ln P _j	64,08	0,8377	0,0000
	ln P _i	248,68	0,8091	0,0000
	b _{ij}	109,11	1,3743	0,0000
	ln A _i	19,99	-0,2296	0,0000
	ln S _j	4,04	0,7679	0,0455
	ln d _{ij}	2,12	0,1269	0,1457
	ln I _j	2,03	-0,1973	0,1552

$$R^2=0,7538$$

Análisis dinámico del proceso migratorio.

La comparación de los resultados obtenidos, en dos momentos contrastados en el tiempo (años 1970 y 1990), permite deducir una serie de interesantes conclusiones (Cuadros 1 y 2).

En primer lugar, conviene destacar el elevado grado de ajuste al modelo teórico, en ambos casos, con un porcentaje de la varianza explicada que supera el 70%. Sin embargo, conviene realizar algunas matizaciones:

- La influencia del factor demográfico resulta decisiva en la construcción del modelo interactivo. Incluso, ha ido en aumento con el paso del tiempo. En 1970, el porcentaje de la varianza explicado por la jerarquía poblacional (volumenes de población de los lugares de origen y destino) era de 51,48%, valor que se incrementó, en 1990, al 60,29%.

Cuadro 2. Ajuste del modelo de interacción espacial, mediante la técnica de la regresión múltiple (1970).

Variable Dependiente	Constante y variables independientes	test F	Valor • del parámetro	Nivel de significación
ln T _{ij}	k	-	-23,6889	0,0000
	ln P _j	195,12	0,9998	0,0000
	ln P _i	252,84	1,1153	0,0000
	b _{ij}	36,88	1,1185	0,0000
	ln A _i	13,50	0,0167	0,0003
	ln d _{ij}	12,49	-0,3957	0,0005
	ln I _j	27,41	0,0798	0,0000

$$R^2=0,7024$$

- El factor distancia ha ido perdiendo importancia durante los últimos años. Comparando las cifras correspondientes a los años 1970 y 1990, la participación relativa de los factores distancia y contigüidad ha seguido caminos divergentes.

- Los factores derivados del poder de atracción o rechazo de los elementos interactivos del proceso migratorio han evolucionado de forma diferenciada. Así, mientras que el factor de impulsión, medido por el porcentaje de población agraria, ha incrementado ligeramente su nivel de significación, los factores de atracción tradicionales derivados de la industria han desaparecido prácticamente. Resulta revelador al respecto la importancia de la industria como agente desencadenante de los movimientos migratorios en los años del desarrollismo y su prácticamente nula participación actual.

A modo de resumen, podemos señalar que el modelo de interacción espacial muestra en gran medida la estabilidad de los factores determinantes del proceso migratorio regional español. La distancia, como elemento de fricción espacial retardador de los movimientos migratorios, ha ido perdiendo importancia con el paso de los años. Por contra, es preciso destacar la decisiva contribución de la contigüidad geográfica como factor explicativo de los desplazamientos de menor alcance.

Finalmente, algunos factores de rechazo tradicionales, como el carácter agrario de una región, han invertido su tendencia (observar el valor de su signo), mientras que otros factores de atracción, como el nivel de desarrollo industrial, han desaparecido prácticamente del horizonte de los factores determinantes de los flujos de migración.

REFERENCIAS.

- BATTY, M., (1976). *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- CLARK, G. L. y BALLARD, K. P., (1980). "Modeling out-migration from depressed regions: the significance of origin and destination characteristics". *Environment and Planning*, nº 12, pp. 799-812.
- CORDEY-HAYES, M. y WILSON, A. G., (1971). "Spatial interaction", *Socio-Economic Planning Science*, nº 5, pp. 73-95.
- EVANS, R.A., (1969). "The principle of minimum information", *Transactions on Reability*, nº 7, pp. 39-61.
- FLOWERDEW, R. y SALT, J., (1979). "A method of fitting the gravity model based on the poisson distribution", *Journal of Regional Science*, nº 13, pp. 211-231.
- FOTHERINGHAM, A. S., (1984). "Spatial flows and spatial patterns", *Environment and Planning*, nº 16, pp. 529-543.
- FOTHERINGHAM, A. S. Y O'KELLY, M. E., (1989). *Spatial Interaction Models: Formulations and Calibrations*, Kubler Academia Publishers, Netherlands.
- HAYNES, K. E. Y FOTHERINGHAM, A. S., (1984). *Gravity and spatial interaction models*, Sage, N. York.
- LOVETT, A. A., WHYTE, I. D. Y WHYTE, K. A., (1985). "Poisson regression analysis and migration fields", *Transactions of the Institute of British Geographers*, nº 10, pp. 317-332.
- RAVENSTEIN, E.G., (1885). "The laws of migration", *Journal of the Royal Statistical Society*, nº 48, pp. 167-235.
- RAVENSTEIN, E. G., (1889). "The laws of migration", Second paper, *Journal of the Royal Statistical Society*, nº 52, pp. 241-305.
- SHANNON, C. F., (1948). "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, nº 27, pp. 379-423 y 623-656.
- WILSON, A. G. y BENNET, R. J., (1987). *Mathematical methods in Human Geography and Planning*, John Wiley Sons.