

Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa  
Universidad de Zaragoza  
1992, Zaragoza

## **MODELOS PARA EL ESTUDIO Y PREVISION DE LA DEMANDA DE SERVICIOS COLECTIVOS**

Antonio MORENO JIMENEZ  
*Dpto. Geografía. UAM*

### **1. Introducción.**

El conocimiento de la demanda espacial, esto es, la magnitud o frecuencia de uso de los equipamientos, considerando la ubicación respectiva, ha constituido uno de los temas privilegiados por la investigación geográfica (cf. Massam, 1975) y económica (por ej. Tellier, 1985, Razzolini, 1987; Santerre, 1985). En parte porque algunos servicios se rigen por reglas de mercado, y por tanto buscan el beneficio y requieren un umbral mínimo de demanda, y en parte porque también para los servicios públicamente provistos se ha suscitado la necesidad de conocer su eficiencia y efectividad social, esta cuestión ha producido una fértil bibliografía. Desde la óptica de los decisores y gestores una información anticipada sobre diversos aspectos atinentes al impacto o "output" de los mismos resulta de suma utilidad tanto para diagnosticar situaciones presentes como para iluminar políticas futuras.

¿Cuáles son los condicionantes de carácter territorial que propician el uso/desuso de los equipamientos públicos? ¿Qué magnitud de población los usará, y por tanto se beneficiará de ellos? ¿Cuáles serán las zonas de origen de dicha demanda y los puntos de servicio que elegirán? Son éstas cuestiones social y administrativamente relevantes para las que una metodología geográfica resulta pertinente. Como ya hemos postulado en otro lugar (Moreno, 1992), los SIG ofrecen un alto potencial en tal terreno, pero junto con dicha herramienta informática se requiere una base de conocimiento (sobre cómo funcionan territorialmente esos sistemas de provisión de servicios) y técnicas cuantitativas (modelos) que conjuntamente sustenten unas evaluaciones y predicciones fiables. El objetivo de este trabajo es explorar en qué

medida ciertas formulaciones matemáticas son idóneas para reproducir y estimar el uso observado y que por lo tanto pueden servir para realizar predicciones.

Los elementos más habituales en este tipo de modelos han sido tres:

A) Las características de la población que propician el uso (edad, sexo, renta, profesión, nivel de estudios, situación familiar, etc.) ya que éste varía según dichos atributos. B) Los rasgos de la oferta (magnitud, calidad, horario, tarifas, etc.) que implican una atracción diferente. C) Y finalmente las condiciones de desplazamiento a los mismos (costes de transporte), habitualmente traducidas como accesibilidad espacial.

La expresión general se podría escribirse así:  $Y = f(P,O,C)$ , es decir, la demanda o uso (Y) se entiende como una función de los atributos de la población (P), de los rasgos de la oferta (O) y de los costes de desplazamiento (C) entre los lugares de origen del viaje y los equipamientos. Con todo, en la práctica investigadora han menudeado fórmulas parciales (incorporando sólo algunos de esos componentes) como vía para modelos más completos. En esas coordenadas nos moveremos aquí.

Las teorías sobre las que dichos análisis se apoyan resultan variadas: aportaciones psicológicas, sociológicas, económicas, geográficas, etc. se pueden identificar fácilmente. En este trabajo serán privilegiadas como inspiración las doctrinas de carácter geográfico-económico por cuanto ofrecen un grado de efectividad alto en relación a los costes que implican. Los restantes apartados se dedican a ensayar diversas formulaciones que posibilitan aproximarse a la medición de la demanda como indicador del beneficio social obtenible mediante la dotación de servicios colectivos.

La información empírica se refiere a los equipamientos bibliotecarios de un municipio metropolitano de Madrid (San Sebastián de los Reyes) y consta de datos padronales, encuesta a usuarios y a responsables del servicio.

## 2. Los factores socio-demográficos del uso de equipamientos públicos.

Las investigaciones comerciales ha desvelado un largo conjunto de evidencias acerca de la desigual propensión al consumo según categorías sociales, cuyo conocimiento posibilita su posterior introducción en

modelos de generación de demanda, necesarios en los análisis de prospectiva. Aunque el estudio sistemático de las relaciones entre rasgos de la demanda y uso de servicios recurre a herramientas cada vez más sofisticadas (modelos lineales, no lineales, log-lineales, logit, etc.), el uso del coeficiente de correlación lineal permite una primera aproximación a la identificación de nexos entre variables socio-demográficas y el número de usuarios de las bibliotecas y bibliobuses, adoptando como unidad territorial la sección censal. Entre las variables investigadas se incluyen población total y diversas categorías de edad, nivel de instrucción, actividad y status ocupacional. Los mejores y más interpretables resultados se obtuvieron con la población total ( $r=0,705$ ), grupos de población infantil y juvenil ( $r$  entre 0,62 y 0,64) y población estudiante ( $r=0,62$ ).

### 3. El papel de la accesibilidad espacial a los equipamientos

Tanto desde la Geografía de la percepción y del comportamiento (Timmermans y Golledge 1990), como desde la Geografía Teórica (cf. Berry y Parr, 1988; Wrigley, 1988; Moreno y Escolano, 1992) y la Economía espacial (Eysel y Laporte, 1989) se han propuesto y testado diversos supuestos explicativos de la conocida evidencia empírica del descenso del uso o la demanda con la distancia. Para su determinación se han utilizado a veces modelos simples no lineales, pero linealizables (cf. Taylor, 1983, Moreno *et al.* 1991, Moreno, 1992). Un hándicap de ellos estriba en que no matizan la orientación y magnitud de los flujos entre orígenes y destinos. Dentro de la familia de modelos de interacción espacial el conocido de restricción doble (de producción y atracción) se adapta particularmente al examen del factor distancia, al tiempo que resuelve la anterior objeción. Su formulación es como sigue:

$$Y_{ij} = A_i B_j O_i D_j f(c_{ij}) \quad [1]$$

donde  $O_i$  representa el total de usuarios observados empíricamente que salen de la zona  $i$ ,  $D_j$  el total de usuarios observados en el destino  $j$ ,  $c_{ij}$  es el coste de viajar entre  $i$  y  $j$ ,  $A_i$  es un factor de ajuste que asegura que la totalidad de los flujos predichos por el modelo para cada origen iguale a los observados. Su valor, determinado empíricamente, sería:

$$A_i = 1/(\sum_j B_j D_j f(c_{ij})) \quad [2]$$

$B_j$  es otro factor de ajuste que asegura que la totalidad de los flujos predichos por el modelo para cada destino iguale a los empíricamente observados. Su valor, determinado empíricamente, sería:

$$B_j = 1/(\sum_i A_i O_i f(c_{ij})) \quad [3]$$

La función de distancia toma habitualmente una de estas dos formas:

A) Potencial:  $f(c_{ij}) = c_{ij}^B$     B) Exponencial:  $f(c_{ij}) = \exp(\beta c_{ij})$

Esta segunda expresión reúne la particularidad de asegurar que el modelo maximice la entropía (Huggett y Thomas, 1980, p. 153-163), o dicho de otra forma, garantiza la predicción de la distribución de los  $Y_{ij}$  que es más probable o verosímil dadas las restricciones  $A_i$  y  $B_j$  antedichas y que el coste total no sobrepasa una cifra preestablecida  $C$ , tal que

$$C = \sum_i \sum_j Y_{ij} f(c_{ij}) \quad [4]$$

Los datos empíricos introducidos en el caso bajo estudio han consistido en los flujos reales entre cada sección censal y los puntos de servicio bibliotecario y la distancia rectangular (Manhattan). Dicha métrica estipula que:

$$c_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad [5]$$

siendo  $x_i$  e  $y_i$  las coordenadas del centroide de la sección censal  $i$  y  $x_j$  e  $y_j$  las coordenadas de la biblioteca o bibliobús  $j$ . La bondad de esta forma de distancia viene avalada por estudios previos sobre desplazamientos peatonales para servicios en medio urbano. Abundando más, en los ensayos aquí realizados la bondad de los ajustes con la distancia euclidiana (línea recta) apareció reiteradamente inferior.

El modelo, calibrado mediante el programa SIMODEL (Fotheringham y O'Kelly, 1989) ofreció los resultados del cuadro 1. Se aprecia que para ambas formas de la distancia la bondad de ajuste es excelente, tomando el parámetro de la distancia un valor negativo, coherente con el signo de la relación prevista entre frecuentación y alejamiento. Aunque este resultado permite ser optimista sobre las virtualidades del factor accesibilidad en formulaciones predictivas, el modelo exige conocer previamente la demanda generada en cada origen y la llegada en cada destino.

## CUADRO 1

RESULTADOS DEL MODELO DE INTERACCION CON DOBLE  
RESTRICCION

<u>Función de distancia</u>	<u>Bondad de ajuste (<math>R^2</math>)</u>	<u>Parámetro <math>\beta</math></u>
Exponencial	0.957	-0.0023226
Potencial	0.971	-1.4771237

## 4. La predicción del uso a partir de los atributos de la demanda

Hasta ahora se ha podido determinar a través de diversas vías la pertinencia de incluir variables socio-demográficas y de accesibilidad/distancia en un modelo plausible de estimación de la demanda. Sin embargo, el análisis se ha desarrollado de forma parcial, por cuanto el efecto conjunto de ambas dimensiones no se ha explorado. Este es el objeto del presente apartado. A tal fin dos líneas metodológicas se han recorrido: los modelos centrados en la idea de la regresión y los modelos de interacción con restricción en el destino.

## 4.1. Modelos aditivos

Una de las vías posibles más comunes para realizar estimaciones la ofrece la regresión que se caracteriza por su estructura lineal y aditiva (cf. Breheny, 1989; Field y MacGregor, 1987, p. 168-170). En el presente caso la variable a predecir se ha definido como la demanda global originada en cada zona (sin especificación del destino) y como variables predictoras se han testado varias combinaciones de indicadores socio-demográficos con dos índices de accesibilidad. Más concretamente la forma genérica de las ecuaciones a resolver fue así:

$$Y_i = b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} \quad [6]$$

siendo  $b_1, b_2$  = parámetros a estimar,  $Y_i$  = demanda estimada para la zona  $i$ ,  $X_{1i}$  = rasgos del área  $i$  que propician el uso del servicio (variable generadora) y  $X_{2i}$  = índice de accesibilidad de la zona  $i$  a los equipamientos. Dos formulaciones fueron ensayadas para expresar tal índice, aunque dentro de la misma lógica. Si la accesibilidad para cada zona de demanda debe disminuir con el alejamiento a los puntos de oferta, una medida simple podría contruirse mediante la suma de la

inversa de las distancias a los equipamientos. Esta expresión resulta bastante común en la bibliografía sobre el tema:

$$E_i = \sum_j 1/\sqrt{c_{ij}} \quad [7]$$

Al mismo tiempo, y recogiendo los hallazgos obtenidos con el modelo de interacción anterior, se diseñó otro índice de la siguiente forma:

$$E_i = \sum_j \exp(\beta c_{ij}) \quad [8]$$

siendo  $\beta = -0.0023226$ , es decir, el parámetro obtenido en el modelo de interacción con doble restricción.

La no inclusión del habitual término constante en las ecuaciones de regresión viene justificado por razones teóricas: dado que en el supuesto de valores nulos de ambas variables la predicción debería ser cero, parece coherente anular dicho parámetro. De los numerosos ensayos llevados a cabo merece la pena reseñar que las variables con mejor capacidad explicativa fueron por este orden la población total, la de 6-13 años, la de 0-19 años y la que cursa estudios. Por otro lado, ambos indicadores de accesibilidad consiguieron resultados casi análogos, con una ligerísima ventaja de la formulación [7]. El valor  $R^2$  más elevado (0,507) se obtuvo con el modelo que integraba como predictoras la población total y la accesibilidad (suma de la inversa de la raíz cuadrada de las distancias). Se escribiría así:

$$Y_i = 0,0172 X_{1i} - 38,472 X_{2i}$$

En todo caso debe hacerse constar que frente al coeficiente de la variable socio-demográfica, que resulta muy significativo, el de la accesibilidad sólo lo es al nivel del 24.32 %.

#### 4.2. Modelos multiplicativos

Las formulaciones de este tipo son bastante habituales en la bibliografía. Una aplicación de este planteamiento modelístico, fue realizada por Doling y Gibson (1979) para estimar la demanda de las piscinas públicas de Coventry. En este estudio se ha ensayado la siguiente (modelo multiplicativo-potencial):

$$Y_i = X_{1i}^{b1} \cdot X_{2i}^{b2} \quad [9]$$

en la que los símbolos representan lo mismo que anteriormente. La forma linealizada mediante logaritmos sería:

$$\ln(Y_i) = b_1 \ln(X_{1i}) + b_2 \ln(X_{2i}) \quad [10]$$

Su resolución puede efectuarse ya mediante el criterio de mínimos cuadrados. Utilizando las variables población total y la accesibilidad (inversa de raíz de la distancia) se obtuvieron los siguientes parámetros:  $b_1 = 0,8304$  y  $b_2 = 2,1080$ .  $R^2$  ascendió a 0,596, mejorando pues al modelo aditivo.

#### 4.3. El modelo de interacción espacial con restricción de destino

Los modelos anteriores han abordado la estimación de la demanda generada en cada zona de origen (sección censal) de forma global. Una alternativa también deseable para el decisor puede ser predecir el volumen de usuarios desglosada por destinos (puntos de oferta), tal y como permite el llamado modelo de interacción espacial con restricción de destino. En él se integran ya los costes de desplazamiento y una o varias variables que propicien el uso del servicio (indicadores socio-demográficos), con la restricción de que el total de usuarios predichos para cada destino, coincida con los observados. De esta forma el modelo posibilita, en una primera etapa, explorar qué función de la distancia y qué variable socio-demográfica se ajusta mejor a los flujos reales. Su ecuación se escribe así:

$$Y_{ij} = B_j M_i^{\text{alfa}} D_j f(c_{ij}) \quad [11]$$

donde  $M_i^{\text{alfa}}$  es una variable que, para cada zona de origen, expresa la propensión al consumo.  $B_j$  toma una de las dos formas siguientes según la función de distancia usada:

A) Potencial:  $B_j = 1/(\sum_i M_i^{\text{alfa}} d_{ij}^{\beta})$

B) Exponencial:  $B_j = 1/\sum_i M_i^{\text{alfa}} \exp(\beta d_{ij})$

Varios experimentos se han realizado con algunas de las variables socio-demográficas mejor correlacionadas con el uso y las dos formas funcionales de la distancia. En el cuadro 2 se resumen los resultados.

CUADRO 2  
RESULTADOS DE MODELOS DE INTERACCION CON  
RESTRICCIÓN EN DESTINO

VARIABLE GENERADORA	FUNCION	PARAMETROS		BONDAD
		VARIABLE GENERADORA	DISTANCIA	AJUSTE (R <sup>2</sup> )
<u>DE DEMANDA</u>	<u>DISTANCIA</u>	<u>ALFA</u>	<u>B</u>	
Pobl. total	Expon.	1.7705872	-0.0021738	0.652
Pobl. total	Poten.	1.9306851	-0.7732409	0.505
Pob. 0-19 años	Expon.	1.3935238	-0.0022203	0.640
Pob. 0-19 años	Poten.	1.5350201	-0.8001527	0.492

Fte. Elab. propia.

Los niveles explicativos conseguidos son medios, no sobrepasándose el umbral de 2/3 de la varianza explicada. Pese a todo, este modelo constituye una mejora respecto a las formulaciones aditiva y multiplicativa anteriores.

El modelo anterior posee ciertas potencialidades para la predicción. Asumiendo que ha habido un cambio en la distribución espacial de la población (por ejemplo, ubicación o composición de las zonas residenciales) y que todos los demás factores (oferta y costes de desplazamiento) permanecen igual, el problema práctico consistiría en evaluar la demanda esperada (beneficiarios reales) de cada origen y su atribución probable a los diferentes destinos (lugares de oferta) existentes. Los pasos a seguir serían los siguientes:

A) Contar con una calibración previa de los parámetros ( $\alpha$  y  $\beta$ ) para los dos factores considerados (variable generadora de demanda y coste de viaje). B) Calcular los factores de ajuste  $B_j$ . C) Aplicar la ecuación del modelo [11].

5. La predicción del uso a partir de los atributos de la oferta

El último de los factores que en nuestro esquema inicial se postuló como condicionante del uso es la propia oferta. Su magnitud, calidad, ubicación, etc. son elementos que facilitan o dificultan la satisfacción de las demandas sociales y por lo tanto una juiciosa toma de decisiones debe tomarlos en cuenta. Una desacertada política de organización de la oferta de servicios públicos puede conducir no sólo a una ineficiencia en el gasto (en el sentido de no maximizar los resultados

o outputs), sino también a una falta de efectividad, esto es, a la no consecución de las metas establecidas. Pues aunque en el sector público el principio de equidad ocupa un lugar privilegiado, los de eficiencia y efectividad no son nada desdeñables. Incluso las doctrinas del marketing propias del sector privado han sido justificadamente reclamadas para los servicios públicos (Crompton y Lamb, 1986, p. 1-41).

En este apartado se presentará un ejemplo de cómo variables propias del marketing pueden y deben incluirse en estudios sobre prognosis de la demanda. Al respecto se ha echado mano del modelo de interacción espacial con restricción de producción o en origen. Su expresión formal es como sigue:

$$Y_{ij} = A_i M_j^{\text{alfa}} O_i f(c_{ij}) \quad [12]$$

donde  $M_j^{\text{alfa}}$  es una variable que, para cada punto de oferta  $j$ , traduce el grado de atracción para los usuarios.  $A_i$  es un factor de ajuste que asegura que la totalidad de los usuarios predichos desde cada zona de origen iguala a los observados. Toma una de las dos formas siguientes según la función de distancia usada:

A) Potencial:  $A_i = 1/(\sum_j M_j^{\text{alfa}} c_{ij}^{\beta})$

B) Exponencial:  $A_i = 1/\sum_j M_j^{\text{alfa}} \exp(\beta c_{ij})$

$O_i$  por su parte representa, como anteriormente, el volumen conocido de usuarios de la zona  $i$ .

Lo que se postula es que la demanda es una función de ciertos atributos de los equipamientos y de los costes de desplazamiento de los usuarios. Al igual que el modelo con restricción en destino, esta formulación tiene un doble uso potencial. Por un lado, y sobre la base de unos datos conocidos, permite determinar qué rasgos de la oferta se hallan mejor relacionados con la utilización (uso explicativo). Por otro, y una vez calibrado, puede emplearse para llevar a cabo análisis de impactos derivados de cambios en la oferta (uso predictivo). Expondremos estas dos modalidades de empleo.

La lista de atributos de la oferta susceptibles de incrementar el consumo del servicio (en este caso servicios bibliotecarios) puede ser amplia y variada. Varios atributos fueron retenidos para su examen: el

volumen de fondos bibliográficos, el número de puestos de lectura, el producto de horas semanales de apertura por la cifra de personal cualificado destinado al servicio y, así mismo, el efecto conjunto (producto) de horas de apertura y fondos bibliográficos.

De los ensayos realizados los mejores resultados se ofrecen en el cuadro 3. Es digno de mención el elevado grado de bondad conseguido en la totalidad de los modelos, superándose el 90 por ciento de la varianza explicada.

CUADRO 3  
CALIBRADO DE MODELOS DE INTERACCION CON  
RESTRICCION DE PRODUCCION

VARIABLE	FUNCION	PARAMETROS		BONDAD AJUSTE (R <sup>2</sup> )
		VARIABLE ATRACCION	DISTANCIA _ β	
Pers. cual. x Horas apert.	Expon.	0.7393698	-0.0023688	0.929
Pers. cual. x Horas apert.	Poten.	0.9538733	-1.2702865	0.933
Fondos x Horas apertura	Expon.	0.7228636	-0.0023696	0.934
Fondos x Horas de apert.	Poten.	0.9127127	-1.2513368	0.922

Fte. Elaboración propia.

La segunda modalidad de utilización del modelo es de carácter predictivo. Si se puede disponer de una información previa sobre el número de usuarios en cada zona de origen, el modelo pronosticaría su asignación o reparto entre los distintos centros de oferta. De este modo podrían aventurarse los efectos desencadenados por cambios en los servicios (supresión, adición, traslado, ampliaciones, mejoras de bibliotecas, etc.). Para proceder a esta modalidad de utilización las etapas a seguir serían:

A) Disponer de información acerca de la magnitud de la demanda para cada zona de origen, de la variable de atracción (referida a cada punto de oferta), de los costes de viaje y de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , a partir de una calibración previa. B) Computar los factores de ajuste  $A_j$  para cada zona de origen. C) Aplicar la fórmula del modelo [12].

## 6. Conclusiones

La necesidad de disponer de instrumentos operacionales para la formulación y seguimiento de políticas de servicios colectivos está adquiriendo un eco creciente. Su potencial papel para analizar mejor los problemas, para el seguimiento de los cambios, así como para proveer información sobre los logros y relevancia de las políticas es innegable en el ejercicio de esas competencias propias de las administraciones local y regional, a menudo responsables de esa provisión (England, *et al.*, 1985), pero también de empresas privadas. Los ensayos realizados en este trabajo sobre una gama de modelos permiten sustentar la pertinencia de la metodología geográfica en aplicaciones para la resolución de los problemas prácticos enunciados al principio. Su integración en algunos SIG permite vislumbrar, adicionalmente, un papel más relevante del geógrafo en esos órganos de la administración pública.

## BIBLIOGRAFIA

- BERRY, B. y PARR, J. (1988): Market centers and retail location. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- BREHENY, M. (1988): "Practical methods of retail location analysis", en WRIGLEY, N. (Ed.): Store choice, store location and market analysis. Londres, Routledge.
- CROMPTON, J. L. y LAMB Jr., Ch. W. (1986): Marketing government and social services. Nueva York, John Wiley and Sons.
- DOLING, J. y J.G. GIBSON (1979): "The demand for new recreational facilities: A Coventry case study", Regional Studies, 13, 181-190.
- ENGLAND, J. et al. (1985,ed.): Information systems for policy planning in local government. Longman, Harlow.
- EYSEL, H. y LAPORTE, G. (1989): "Competitive spatial models", European Journal of Operational Research, 39, 231-242.
- FIELD, B. y MACGREGOR, B. (1987): Forecasting techniques for urban and regional planning. Londres, Hutchinson.
- FOTHERINGHAM, A. S. y O'KELLY, M. E. (1989): Spatial interaction models: formulations and applications. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- HUGGETT, R. y THOMAS, R. (1980): Modelling in geography. A mathematical approach. Londres, Harper and Row.
- MASSAM, B. (1975): Location and space in social administration. Londres, Edward Arnold.
- MORENO JIMENEZ, A. et al. (1991): "Los centros culturales en Madrid: una análisis geográfico de la provisión y el uso", Estudios Geográficos, 205, 697-730.
- MORENO JIMENEZ, A.: "Los sistemas de información geográfica en la planificación de servicios municipales", 1er. Congreso. Los sistemas de información geográfica en la gestión territorial. Madrid, 1992, 377-391.
- MORENO, A. y ESCOLANO, S. (1992): El comercio y los servicios para la producción y el consumo. Madrid, Síntesis.

---

RAZZOLINI, L. (1987): "L'analisi della domanda dei servizi pubblici locali: una stima dell'efficacia", Studi Economici, 33, 41-65.

SANTERRE, R. E. (1981): "Spatial differences in the demands for local public goods", Land Economics, 61,2, 119-128.

TAYLOR, P. J. (1983): Distance decay in spatial interaction, Norwich, GeoBooks, CATMOG, 2.

TELLIER, L. N. (1985): Economie spatiale. Chicoutimi, Gaëtan Morin

TIMMERMANS, H. y GOLLEDGE, R. (1990): "Applications of behavioural research on spatial problems II: preference and choice", Progress in Human Geography, 14, 3, 311-354.

WRIGLEY, N. (1988, ed.): Store Choice, Store Location and Market Analysis. London, Routledge.