

La movilidad interna de pasajeros en la ciudad de Palma y la aplicación de un modelo gravitatorio

J. M. SEGUI PONS *

Introducción

La utilización de modelos, de procedimientos hipotético-deductivos en geografía, que conllevan la utilización de un lenguaje matemático, son los responsables de una mutación extraordinaria en el seno de nuestra disciplina (Isnard, 1981, p. 102). Este fenómeno empezó a generalizarse a partir de los años cincuenta, cuando todas las ciencias, físicas y sociales, y sobre todo estas últimas, en fase de acercamiento, experimentaron un profundo proceso de transformación. La geografía, se adaptó a la evolución de su objeto de estudio, que en las ciencias humanas de actualidad, es doble. Procede por una parte, del afinamiento y enriquecimiento de curiosidades, con una motivación teórica o pragmática de la investigación y por otra, de los cambios propios de la materia a observar, estableciéndose entre las dos relaciones dialécticas, ya que por una parte, la investigación se adapta a las transformaciones de la materia y éstas, a su vez, exigen la puesta en marcha de un nuevo bagaje investigador (Isnard, 1981, p. 9).

La necesidad de objetivar el hecho observado, condujo a la utilización de un lenguaje intersubjetivo que diera cientificidad a las disciplinas. En este sentido, estamos de acuerdo con Harvey cuando afirma que «*todos coinciden en que la matemática es el lenguaje de la ciencia*» (Harvey, 1983, p. 196). Dado que son un conocimiento analítico «a priori» no nos pueden dar a conocer nada de lo que no podemos conocer de otra manera, sin embargo, nos permiten extraer información, que de otra forma, sería imposible conseguir, o sea, funcionan como «*extractor de teoría*» (Harvey, 1983, p. 196).

(*) Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de las Islas Baleares.

La geografía, no fue ajena a todo este proceso y desde entonces, el lenguaje matemático se está utilizando para llegar a la «explicación» de la organización de los fenómenos espaciales. Con ello, no queremos indicar que la descripción, realizada mediante un procedimiento inductivo, no sea importante en el proceso investigador, *«pero la acumulación de datos será insuficiente sino se tiene un hilo conductor que permita una perspectiva global coherente»* (Isnard, 1981, p. 23).

La observación de los hechos y su descripción debe constituir un eslabón más, pero no la finalidad del estudio científico. Harvey, nos define la explicación como el hecho de reducir un resultado inesperado, fuente de conflicto, a esperado. O sea, elaborar una teoría, que sirva tanto para explicar satisfactoriamente, como para identificar la geografía como campo de estudio independiente (Harvey, 1983, p. 96). Por tanto, si el buscar explicaciones, significa buscar teorías, hay dos vías para lograrlos. La teórica-deductiva, cuando se general hipótesis, de las que se deducen los hechos observados y que sirven últimamente para predecir hechos desconocidos (Ortega Cantero, 1981, p. 64) y la inductiva, que parte de datos observables para pasar a generalizaciones que permitan elevarse al modelo conceptual (Isnard, 1981, p. 24). En este último caso, la teoría resultará de una larga maduración empírica de la realidad. Tanto una como otra, contemplan el encadenamiento causal propio de la filosofía positivista decimonónica y de la neopositivista, que a partir de los años cincuenta, empezó a dominar el espectro científico.

Si bien, ha habido un cierto temor, una cierta resistencia por parte del geógrafo a la teoría, ya que la aplicación del método científico a las ciencias sociales encierra problemas prácticos considerables, en cierta manera, esta resistencia del geógrafo a elaborar teorías refleja la lenta maduración de los métodos matemáticos apropiados para enfrentarse a los problemas geográficos (Harvey, 1983, p. 95).

La importancia de la distancia y la utilización de modelos gravitacionales

Si bien son varias las disciplinas que se disputan el dominio que desde Herodoto tenía reservado la geografía (Isnard, 1981, p. 15), el espacio, utilizándolo como variable importante en sus estudios, como la economía, cuando descubre la dimensión espacial como factor económico significativo (Ortega Alba, 1983, p. 24), es para la geografía la variable fundamental, ya que nuestra disciplina se define como *«el estudio de las leyes referentes a la organización espacial»* (Schaefer, 1974, p. 35). La actualización de este espacio, móvil y relativo viene dada por la localización en él de las actividades humanas, en las que juega un papel primordial, el factor distancia. Por tanto, la importancia de la distancia, en geografía, está estrechamente ligada a su definición como ciencia del espacio.

Los primeros intentos de estudiar científicamente el papel de la dis-

tancia en los movimientos migratorios se llevaron a cabo a fines del siglo pasado con el demógrafo Ravenstein en Inglaterra y Andersson en Suecia (Hagget, 1975, pp. 46-47). A partir de entonces las tentativas de expresar objetivamente esta relación, no han cesado, llevándose a cabo estudios muy diversos, tanto en tipos de movimiento, como en magnitud de distancias, desde estudios regionales hasta estudios de carácter sistemático.

Dauphiné (1979, p. 105) clasifica los modelos propuestos para explicar la disminución o el decrecimiento de los movimientos migratorios en tres grupos: los matemáticos, los empíricos, generalizando los datos observados reiteradamente y los teóricos. Estos últimos son modelos deductivos que se inspiran en analogías de tipo físico. El uso de este tipo de modelos tiene sus peligros porque implica argumentar por analogía, usar modelos análogos o medios auxiliares para explicar. Uno de los modelos más importantes para resolver, sobre todo, problemas de interacciones urbanas, es el modelo gravitacional. Es una de las aportaciones más fructíferas del campo de la física, en concreto de la mecánica newtoniana, al campo de la geografía humana. Si bien este modelo, fue descubierto tardíamente por los geógrafos, era ya ampliamente utilizado por los sociólogos.

Stewart, en 1948 y Zipf, en 1969, fueron los pioneros en la aplicación del modelo gravitatorio a los estudios socioespaciales. En geografía, el modelo teórico, se ha traducido bajo la forma $F_{ij} = k (P_i^a \cdot P_j^b / d_{ij}^c)$ donde P_i , P_j , es la población de las ciudades i y j ; y k , a y b , con constantes. A partir de ahí pueden analizarse todo tipo de interacciones: flujos migratorios, tráfico de mercancías, flujos financieros, intercambio de información, etc. En este sentido estamos de acuerdo con Harvey (1983, p. 28) cuando afirma que aunque la fórmula tenga un buen ajuste, en muchas circunstancias los parámetros fluctúan sin control, de forma que la tasa de variación en la interacción en relación a la distancia cambia en el tiempo, según el lugar y las características sociales de la población. Dauphiné (1979, p. 105) y Potrykowsky-Taylor (1984, p. 155) coinciden en que las causas del éxito de este modelo, estriban en su simplicidad y en su elegancia. Precisamente por su simplicidad, ha recibido las mayores críticas. Sólo comprende dos elementos, la población y la distancia, que son los elementos determinantes para las interrelaciones en un espacio dado. ¿Cuál es el poder teórico y por tanto explicativo de un modelo que por analogía utiliza solamente dos elementos? «Mientras se use este método con prudencia y con una clara comprensión del grado de ajuste entre los fenómenos y el modelo utilizado se puede justificar el Método» (Harvey, 1983, p. 69). La masa, se asimila tradicionalmente al tamaño de la población en muchos estudios gravitacionales, porque es un dato fácil de obtener (Hagget, 1975, p. 51). Aunque es cierto que la definición de masa ha de deducirse del tipo de problema que constituye el objeto de estudio (Potrykowsky, 1984, p. 165), en la práctica, los datos disponibles suponen una limitación importante, la distancia, por otra parte, tiene un sentido intuitivo aparentemente muy claro, pero es mucho más sutil de lo que pa-

rece y su definición en matemáticas es más estrecha (Cicéri, 1977, p. 115). Ayuda a definir la naturaleza de los conceptos y está relacionada con el propio concepto del espacio (Harvey, 1983, p. 222). En el modelo gravitatorio podemos utilizar la distancia métrica, en línea recta o a vuelo de pájaro entre dos puntos (Yeates, 1963, citado por Hagget, 1974, p. 52). Pero, la distancia, en el espacio relativo de los geógrafos neopositivistas, en el que la distancia más corta entre dos puntos puede no ser la línea recta (Ortega Alba, 1983, p. 28), puede medirse, en términos de coste, aunque la diversidad de medios utilizados y la hora en que se viaja complican el concepto; en términos de tiempo, de interacción social y otros. Ello implica un concepto de espacio relativo, en constante mutación, frente al valor inmutable del espacio absoluto de la geografía tradicional. Las complicaciones o, mejor dicho, inexactitudes del modelo gravitatorio son aún mayores cuando tratamos de corregir el valor absoluto de dicha variable. ¿Ha de mantenerse la analogía con el modelo de Newton, manteniendo su mismo exponente?, o ¿puede ser variable en función del tipo de interacción?, ya que *la «magnitud de la resistencia de la distancia depende de una serie de factores»* (Potrykowsky, 1984, p. 168).

Objetivo del estudio y metodología utilizada

Somos conscientes de las limitaciones implícitas del modelo gravitacional, utilizando solamente dos variables, tanto más cuanto más hemos intentado aplicarlo a un espacio urbano, en el que para el estudio de la movilidad, o sea de la generación y atracción de viajes, se utilizan universalmente, además de la población, un gran número de variables, como son, el número de automóviles, el nivel de ingresos, el uso del suelo, o la distancia al CBD, como las más importantes, junto con la diversificación por motivos de viaje (Valero, 1970, p. 93). Aún así, como modelo sintético de distribución de viajes, ha sido y es muy utilizado para estudiar situaciones actuales y predecir futuros viajes generados por la capacidad de atracción de determinadas zonas (Valero, 1970, p. 134-135).

Teniendo en cuenta que este tipo de modelos se utiliza con frecuencia en los estudios de flujos o movimientos de transporte, hemos intentado aplicarlo a Palma, para averiguar si la movilidad real de sus habitantes se corresponde con una movilidad hipotética elaborada a partir de un modelo gravitacional. Por ello, utilizamos simultáneamente los resultados empíricos obtenidos a través de una encuesta Origen-Destino y un procedimiento hipotético-deductivo.

Partimos de la fórmula inicial $P.P/d \times k$ (Potrykowsky, 1984, p. 172) en la que hemos obtenido empíricamente el valor de la constante k , que para este trabajo es 10^{-7} .

Para la obtención de la variable distancia, hemos procedido a la triangulación del mapa 1:50.000 de Palma, obteniendo el punto medio de cada

una de las trece zonas, en las que lo hemos dividido. Posteriormente, hemos correlacionado los resultados hipotéticos del modelo con los viajes reales. Teniendo en cuenta los límites de la aplicación de este tipo de modelos y al objeto de mejorar la finura del ajuste de regresión, hemos cambiado la escala, logaritmizando las series de datos, obteniendo una serie de rectas mejoradas en cuanto a su correlación, que nos han dado respuestas más ajustadas a la determinación de datos intermedios del modelo.

Valoración empírica y características de la movilidad de pasajeros en la ciudad de Palma

Con objeto de la revisión del PGOU de Palma, se elaboró por parte de TAET, en 1981, una encuesta domiciliaria Origen-Destino que actualizaba y completaba los resultados de dos encuestas anteriores, las de Movimientos Recurrentes del CEOTMA y del MOPU.

La encuesta de TAET diferencia, como es habitual en este tipo de trabajos, el motivo del viaje y el modo de transporte utilizado, aunque para este estudio no ha sido objeto de tratamiento matemático. Las unidades de la encuesta las componen los 37 barrios del PGOU, agregadas, para facilitar mejor su manejo, en 14 zonas que son, excepto la zona del puerto (fig. 1, tabla I), las utilizadas en este trabajo.

El primer hecho a constatar es la elevada movilidad observada en algunas zonas de Palma, resultado, básicamente, del crecimiento urbano experimentado a partir de los años 60, en que se consolidó la proliferación de polígonos monofuncionales. Estos concentran toda una serie de actividades que anteriormente se encontraban dispersas y repartidas en diversas zonas de la ciudad. El resultado, después de veinte años de crecimiento casi ininterrumpido, ha sido la segregación y polarización de funciones del espacio urbano, frente a la superposición de la ciudad anterior. Ello ha conllevado unas necesidades de movilidad muy elevadas, que se han satisfecho, sobre todo, a través del automóvil.

Una de las características más importantes de la movilidad es la correspondencia estrechísima, en cifras absolutas, entre la población y el número de viajes producidos; ya que a medida que aumenta la población, aumenta el número de viajes, puesto que lleva implícita movimiento de todo tipo, de trabajo, ocio, escolar, etc. Por ello, es la zona 10 la que cuenta con la población más elevada del término, 48.266 h, la que produce mayor número de viajes, 57.744 diarios. Sin embargo, el panorama cambia cuando relacionamos el número de viajes realizados en cada zona, con sus habitantes, ya que es la zona 1, el casco antiguo de la ciudad, la que se sitúa en primer lugar.

Seguidamente, hay que decir que cuanto mayor es el número de via-

Tabla I

TABLA 1.—*Matriz de viajes atraídos y producidos por las 13 zonas de Palma.*

Viajes Producidos	1	2	3	4	5	Viajes atraídos							Total Producidos	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	22.381	2.942	6.347	5.914	681	677	160	320	1.250	2.100	478	354	291	43.922
2	9.094	14.741	4.790	3.472	1.085	1.240	267	2.785	1.183	6.876	421	1.087	650	47.691
3	14.366	2.218	19.290	3.310	916	956	305	1.704	2.483	1.660	346	12	569	48.135
4	10.621	1.256	2.413	34.745	2.917	1.848	266	1.017	409	1.278	58	—	769	57.592
5	3.016	174	1.764	3.491	5.911	475	225	346	174	274	188	160	425	16.624
6	2.386	459	997	1.943	628	11.705	—	509	743	349	65	346	247	20.377
7	684	134	715	645	133	244	2.951	217	635	77	122	49	21	6.621
8	2.066	798	864	482	494	—	113	8.605	481	1.937	43	71	171	16.215
9	5.137	1.151	4.030	3.380	1.043	712	214	1.030	13.666	1.166	180	144	418	32.271
10	7.138	4.927	2.771	1.646	1.592	854	131	2.234	960	34.121	230	540	600	57.744
11	2.187	630	394	580	620	41	—	319	425	1.118	6.044	594	310	13.262
12	1.101	128	164	271	116	—	—	12	281	208	281	5.723	106	8.391
13	786	288	132	211	137	112	—	189	25	416	86	512	6.321	9.213
Total atraídos	80.963	29.844	44.698	60.090	16.273	18.959	4.632	19.287	22.715	51.580	8.542	9.592	10.899	

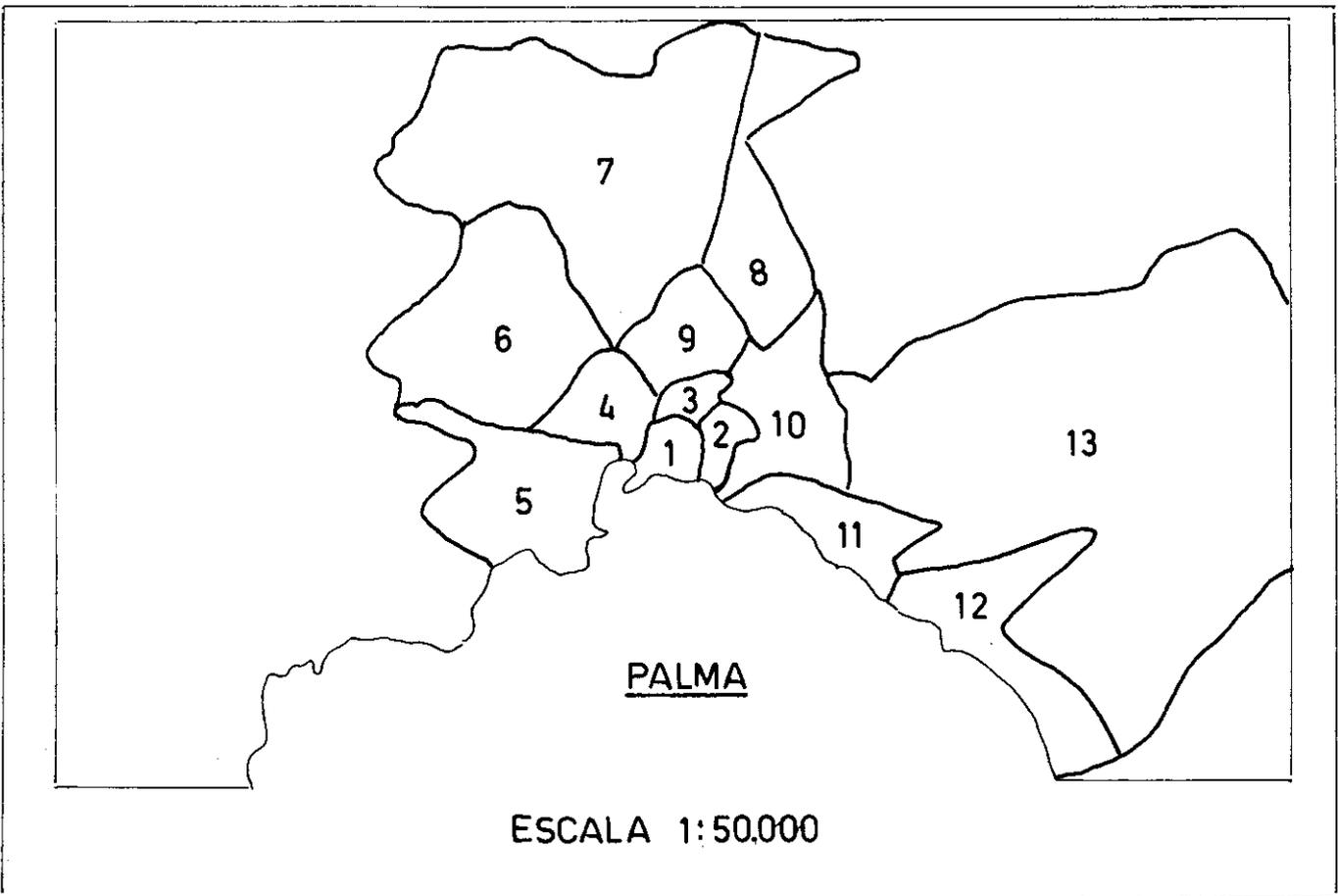


Fig. 1.—Zonas del P.G.O.U. de Palma, 1981.

jes que salen de la zona, sobre el total de viajes producidos en ella, más autónoma y equilibrada está. En este sentido, la zona 2 es la más desequilibrada, puesto que salen fuera de ella el 69 % del total de los viajes que produce, seguida de la zona 5, con un 64 %. Precisamente, es en la primera donde casi el 70 % de los viajes que salen de ella son, por motivo estudio y trabajo, donde se da un desequilibrio escolar y de empleo más acusado. Por otra parte, son las zonas 12, eminentemente turística, con un 32 % de viajes que salen de ella, y la zona 13, de carácter eminentemente rural, con un 31%, las más autónomas de Palma. Ello es indicativo de su equilibrio relativo, ya sea por su carácter turístico, con amplia dotación de servicios o por el carácter de núcleos independientes de Palma, como son Son Ferriol o Sant Jordi.

El tercer aspecto a destacar es la radialidad de los movimientos, indicativo de que la corriente predominante, entre el 27 y el 50 % en todas las zonas, se dirige hacia la zona 1, el centro de la ciudad, lo que denota la dotación de equipamientos con que cuenta, abocado hacia una especialización claramente terciaria muy marcada. De esta forma se establece una relación más fuerte con el centro que con las zonas que se interponen en éste y ellas mismas. Esta estructura se corresponde igualmente con el carácter radial de las carreteras más importantes de las islas. Por influencia de la centralidad, la zona 1, con 21.761 h, atrae 58.582 viajes de las demás zonas, a los que tendríamos que añadir los que atrae de las distintas partes de la isla, colocándose en un índice de 2,69 v/h. Mientras la corona urbana, que forman las zonas 2, 3, 4, sólo atrae 65.856 viajes y cuenta con una población casi seis veces mayor, 123.824 h, colocándose en unos índices de 0,42; 0,61; 0,55 v/h, respectivamente. Se salen de la tónica general radial, los movimientos que se producen en la zona 5, en la que el primer flujo, el 33 % del total de los viajes, se dirige hacia la zona 4, seguido del 28 % hacia la zona 1; y en la zona 7, con un flujo ligeramente superior hacia la zona 3, un 19 % del total de los viajes, seguido igualmente del flujo hacia el casco antiguo, con un 19 %. Como consecuencia de esta estructura radial predominante, las conexiones entre los núcleos periféricos son muy débiles. De este modo, las conexiones de la zona 12 con la 5 o la 8 son mínimas, mientras que con la 6 o la 7, son nulas. Esta misma desconexión la acusa y al mismo tiempo la acrecienta la red de transporte colectivo de Palma, que mantiene una estructura radial en casi todas sus líneas, excepto en dos de ellas, que comunican las zonas 10 y 12 con la 5.

Se salen de esta tónica, una serie de flujos no radiales, de cierta magnitud, que vienen explicados por el carácter monofuncional de algunos barrios. Así, de los 3.380 viajes de la zona 9 a la zona 4, el 72% tienen un carácter escolar, por el propio predominio en esta zona de este tipo de centros; de los 2.785 viajes de la zona 2 a la 8, el 92 % son de carácter laboral, por la fuerte atracción que ejerce el polígono industrial ubicado en esta zona.

La aplicación del modelo y sus resultados

Una primera aproximación nos permite afirmar que, de las zonas consideradas, el modelo explica en nueve de ellas más de la mitad de los viajes reales atraídos (tabla II), por tanto la valoración que de él hacemos es muy positiva (Potrykowsky, 1984, p. 193). Las correlaciones más elevadas entre la capacidad hipotética de atracción de cada zona y los viajes reales que cada zona atrae, se han obtenido en las zonas 1 (tabla III, figs. 2 y 3), 6, 5 y 2, en las que la magnitud poblacional y la distancia respecto a las demás explican más del 70 % de los viajes. Las zonas 1 y 2 son, respectivamente, el casco antiguo y una parte del ensanche, y junto con la zona 3, son las que cuentan, por tanto, con una accesibilidad mayor. Las zonas 5 y 6 son más periféricas, mientras la primera es de carácter eminentemente residencial y turístico, con un enclave sanitario importante, que explica el peso de los viajes con motivo trabajo, en la zona 6, la movilidad elevada, ratificada por el modelo, viene explicada por la gran concentración de puestos escolares. Las correlaciones más bajas se dan en zonas muy alejadas y con poco peso poblacional. La zona 7, fuera del *continuum* urbano, está formada por pequeñas entidades de población, como son Establiments, el Secar de la Real, etc. Las zonas 11 y 12, en la parte de levante, se encuentran igualmente fuera del *continuum* urbano, y a más de 10 km del centro de la ciudad. Con las mismas características, aunque con una correlación ligeramente más alta, se encuentra la zona 13. Sin embargo, la zona 9, aunque a una distancia aceptable respecto de las demás, obtiene correlaciones bajas, porque por su población, el número de viajes que atrae es reducido.

Tabla II

Zonas	R ²	log R ²
1	0,94	0,97
2	0,74	0,87
3	0,67	0,82
4	0,47	0,82
5	0,85	0,88
6	0,91	0,83
7	0,22	0,13
8	0,69	0,79
9	0,63	0,47
10	0,70	0,78
11	0,19	0,18
12	0,20	0,09
13	0,51	0,67

TABLA 2.—Coeficientes de regresión de las 13 zonas de Palma.

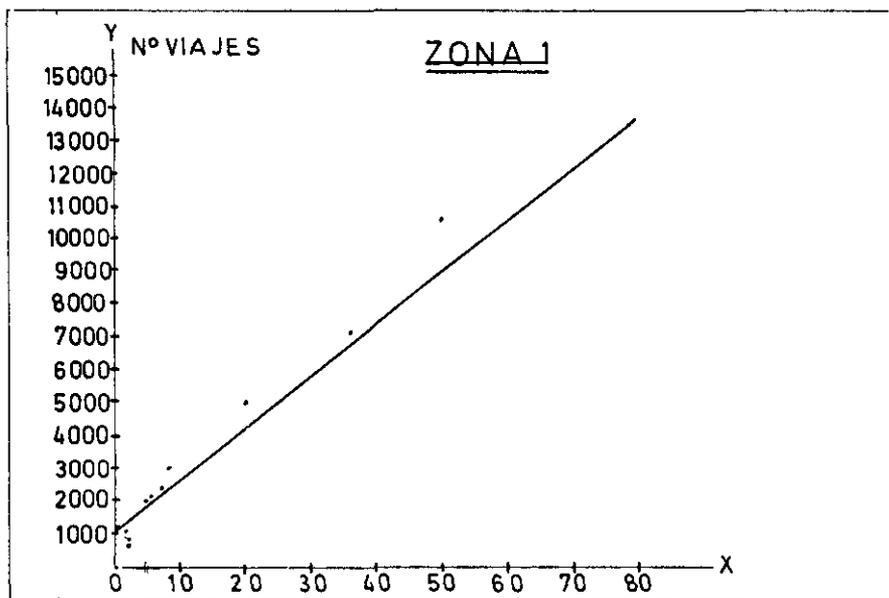


FIG. 2.—Correspondencia entre el número real y el teórico de viajes realizados entre la zona 1 y las 12 de zonas de Palma, marcada la recta de regresión.

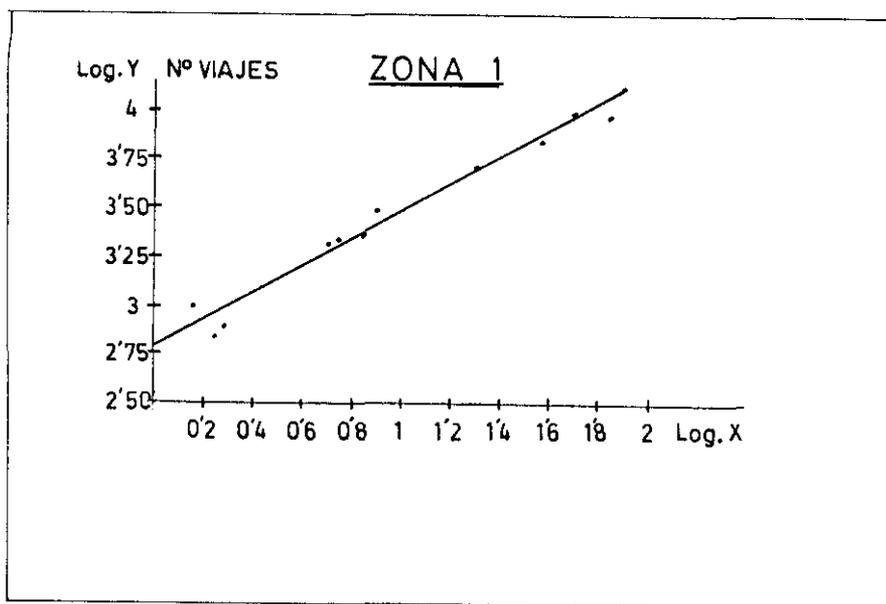


FIG. 3.—Correspondencia entre el número real y el teórico de viajes realizados entre la zona 1 y las 12 zonas de Palma, marcada la recta de regresión, con los datos logaritmizados.

Tabla III

Zona 1. P. derecho 1981, 21.761 habitantes

Zonas	Viajes atraídos zona 1	Habitantes	Distancia zona 1 (km)	P.P/d ¹⁰⁻⁷
2	9.094	36.180	1,15	68,46
3	14.366	41.866	1,15	79,22
4	10.621	45.778	2	49,81
5	3.016	13.450	3,75	7,80
6	2.386	16.015	4,90	7,11
7	684	5.606	7,10	1,72
8	2.066	13.049	5,60	5,07
9	5.137	23.637	2,60	19,78
10	7.138	48.266	2,90	36,22
11	2.187	10.297	4,05	5,53
12	1.101	6.011	8,80	1,49
13	786	8.656	10,20	1,84

$$y = 1.219,53 + 154,72 \times$$

TABLA 3.—Movilidad de pasajeros hacia la zona 1.

Tabla IV

Zona 1. P. derecho 1981, 21.761 habitantes

Zonas	Viajes atraídos Zona 1 logaritmizados	Modelo logaritmizado
2	1,84	3,96
3	1,90	4,16
4	1,70	4,03
5	0,89	3,48
6	0,85	3,38
7	0,24	2,84
8	0,71	3,32
9	1,30	3,71
10	1,56	3,85
11	0,74	3,34
12	0,17	3,04
13	0,27	2,90

$$\log y = 2,799 + 0,691 \log x.$$

TABLA 4.—Movilidad de pasajeros hacia la zona 1.

BIBLIOGRAFÍA

- CICERI, M. F.; MARCHAND, B., y RIMBERT, S. (1977). *Introduction à l'analyse de l'espace*. Masson, Paris, 173 pp.
- DAUPHINE, A. (1979). *Espace, Région et Système*. Edit. Económica. Geographia-1. Paris. 167 pp.
- HAGGET, P. (1975). *Análisis locacional en la geografía humana*. Edit. Gustavo Gili, S. A. Barcelona, 434 pp.
- HARVEY, D. (1983). *Teorías, leyes y modelos en geografía*. Alianza Editorial. Alianza Universidad, Textos, Madrid, 499 pp.
- ISNARD, H.; RACINE, J. B. y REYMOND, H. (1981). *Problématiques de la géographie*. Edit. PUF Le géographe. Paris, 262 pp.
- ORTEGA ALBA, F. (1983). «Notas sobre tendencias actuales de la geografía: La geografía neopositivista». *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 13. 5-39.
- ORTEGA CANTERO, N. (1981). «Geografía y lenguaje matemático». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, I. Madrid, 59-69.
- POTRYKOWSKI, M.; TAYLOR, Z. (1984). *Geografía del transporte*. Edit. Ariel, Colecc. Geografía, Barcelona, 303 pp.
- SCHAFFER, F.K. (1974). *Excepcionalismo en Geografía*. Ediciones de la Universidad de Barcelona, 86 pp.
- VALERO CALVETE, J. (1970). *Transportes urbanos*. Edit. Dossat, S. A. Madrid, 330 pp.