

UNA INTERPRETACION DE LA ENTROPIA EN UN SISTEMA DE LUGARES CENTRALES: EL CASO DE VIZCAYA

1. INTRODUCCION

En la actualidad los modelos de entropía son poco utilizados dentro del campo de la geografía urbana. Estos modelos han tenido una gran aplicación en otras ciencias a partir del desarrollo de la teoría matemática de la información de Shannon y Weaver. Hay que destacar especialmente su temprana incorporación a la Ecología de campo (MARGALEF, R., 1958).

Las nociones derivadas de la teoría matemática de la información presentan actualmente muy poco desarrollo dentro de los modelos matemáticos de la geografía, a pesar de que su interés ha sido señalado por varios autores: BERRY, B.J.L. y HORTON, F.E. (1970); GOULD, P. (1975), REIF, B. (1978) etc. Sin embargo, los intentos de utilizar lo que puede ser un fértil campo teórico son muy puntuales. Sin el ánimo de ser exhaustivos, y dentro de las investigaciones de ámbito anglosajón cabe situar en los primeros intentos a CURRY, L. (1964) quien utilizó modelos de entropía para la descripción de distribuciones de tamaños de ciudades, y a OLSSON, G. (1967) con respecto a la interacción espacial entre lugares centrales. En este último aspecto, los trabajos de WILSON, A.G. (1970) extendieron la utilización de este tipo de modelos.

Desde el punto de vista conceptual, las enormes posibilidades de la teoría matemática de la información han sido puestas de manifiesto por WEBBER, M.J. (1977), quien ha realizado una sistematización considerable de las diferen-

tes aplicaciones de estos modelos: WEBBER, M. J. (1979). El uso de este cuerpo de teoría aproxima de una forma bastante clara la teoría geográfica con la teoría ecológica, tal como la vienen desarrollando recientemente algunos autores: CURRY, L. (1981).

En este trabajo presentamos una aplicación concreta del concepto de entropía a la estructura de las funciones urbanas de lugares centrales tal como ha sido desarrollado en un trabajo reciente (JUARISTI, J., 1982), si bien en este caso insistimos especialmente en los aspectos conceptuales y metodológicos que son susceptibles de ser extendidos a otras interpretaciones de la estructura urbana.

2. ENTROPIA Y FUNCIONES URBANAS

Las medidas de entropía como cantidad de información han sido aplicadas en diferentes ciencias: lingüística, biología, etc. Los ecólogos de campo las han utilizado como medidas de la diversidad de los ecosistemas de animales y plantas (van DOBBEN, W.H. y LOWE-McCONNELL, R.H., 1980). En dichos ecosistemas estas medidas hacen referencia a dos cuestiones:

- número de especies con que cuenta el ecosistema.
- composición de las especies según el número de individuos.

Tomando como índices de diversidad las medidas de entropía resultan más diversificados aquellos ecosistemas en los que existe un mayor

número de especies, y aquellos ecosistemas en los que el número de individuos en cada especie es semejante.

No cabe duda de que las ciudades y los sistemas urbanos son ecosistemas complejos, y, desde el punto de vista conceptual, la noción de diversidad es una forma útil de definir aquello que es urbano: definiciones de lo urbano que hacen referencia a conceptos como división del trabajo, heterogeneidad, complejidad, papeles segmentales, etc., tienen como trasfondo la noción de diversidad.

Sin embargo, las medidas de diversidad no pueden utilizarse en un sentido unívoco. En las ciudades hay una diversidad social, una diversidad profesional, una diversidad funcional, cultural, de orígenes étnicos, etc., que en cada caso deben ser interpretadas dentro de su contexto. Tampoco puede utilizarse únicamente la diversidad como un índice del tamaño urbano, y debe correlacionarse, de modo semejante a como se realiza en la ecología de campo con otras variables e indicadores. En el caso de la ciudad, y dependiendo del carácter de la interpretación, con factores económicos, sociales, políticos, históricos, etc. etc.

En el caso que nos ocupa, la diversidad fue correlacionada con dos variables importantes del sistema urbano: la centralidad y la población asociada a un lugar central.

El requerimiento técnico de la utilización de estas medidas estriba principalmente en la necesidad de clasificaciones muy amplias, con un gran número de tipos — de “*especies*”—, de clases diferentes consideradas para que los índices ofrezcan contrastes claros.

En este caso se ha utilizado la misma clasificación que la correspondiente a los cálculos de centralidad, que comprendía 121 tipos de bienes y servicios distintos distribuidos en 110 lugares centrales.

La introducción de medidas de entropía trataba de salvar la insuficiencia de la descripción de la jerarquía urbana mediante índices de centralidad, tomados como medida de la concentración de funciones (índice de Davies), consis-

tente básicamente en un sumatorio de las probabilidades regionales de los bienes y servicios presentes en un lugar central. Estas medidas no reflejan ni el número de funciones: una misma “cantidad” de centralidad puede deberse a una única función, o a varias funciones distintas; ni tampoco hacen referencia al efecto producido por la asociación de funciones diferentes. Este segundo aspecto conviene resaltarlo ya que, desde el punto de vista metodológico, la centralidad presupone la estructura urbana de un núcleo como una mera suma de partes, mientras que, utilizando medidas de la información, se presupone que la ciudad es más que la suma de las partes que la componen.

En este sentido, y por contraposición a las teorías clásicas de Christaller y Lösch puede decirse que las diferencias entre lugares centrales dentro de un sistema no son simplemente diferencias de “*umbral*” marcadas por la presencia o ausencia de determinados bienes y servicios, o por lo que en la “*teoría de las actividades terciarias*” se denominan “*mercancías jerárquicas marginales*”.

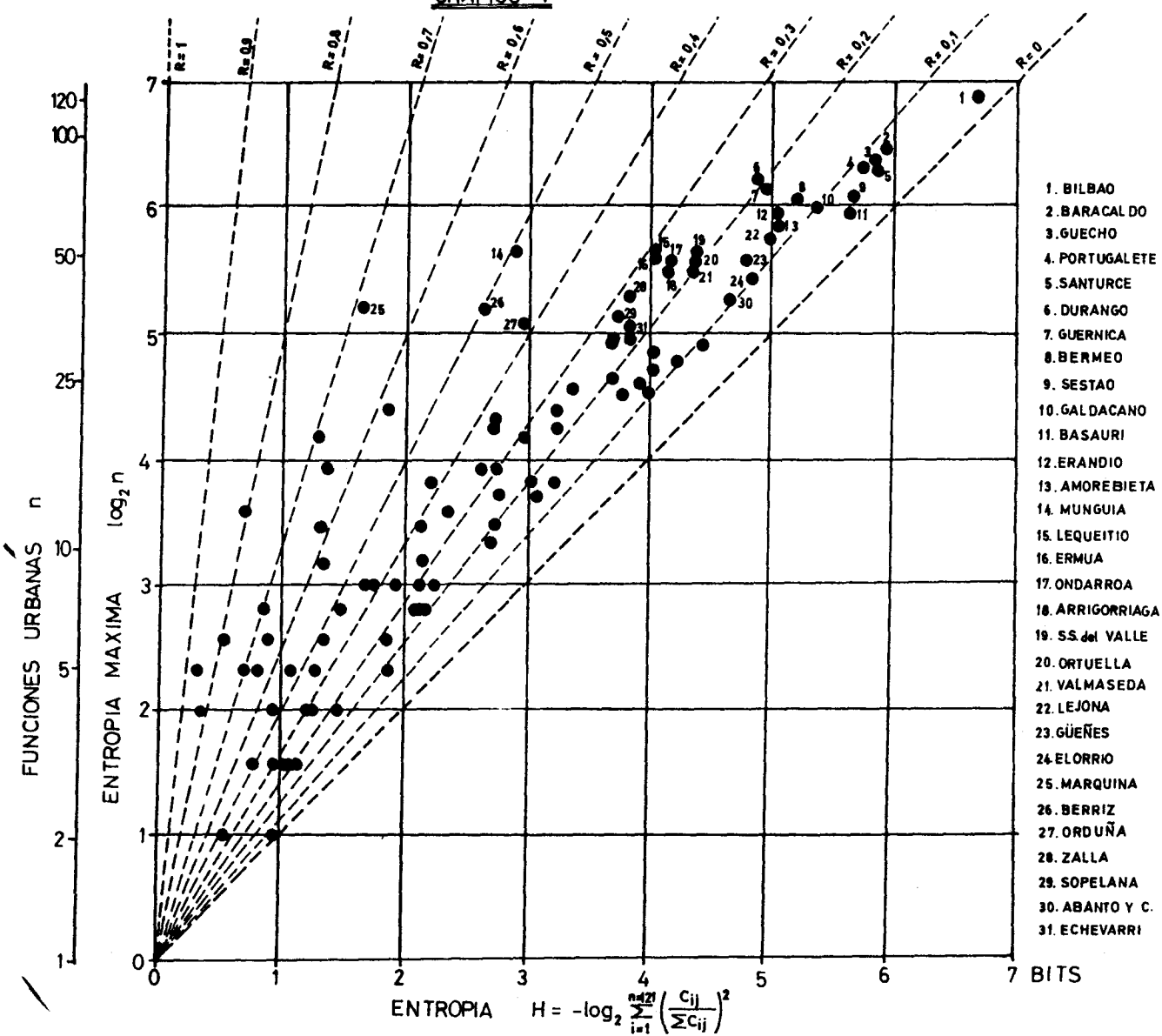
La utilidad de la cantidad de información ayuda a comprender la ciudad como un agregado de funciones, y el papel que representan las funciones que se encuentran por debajo de los umbrales característicos de un nivel urbano determinado, y que son inseparables de las funciones más características o de mayor centralidad.

3. EL CASO DE VIZCAYA

La medida de entropía que se presenta aquí está justificada por la necesidad de describir un sistema urbano complejo como el de Vizcaya, con un área metropolitana extendida sobre gran parte del territorio y superpuesta a un sistema histórico de lugares centrales constituido por villas de fundación medieval, espaciadas de forma regular por el territorio, y dotadas de una función comercial destacada. El efecto producido por el área metropolitana de Bilbao sobre estas villas, así como sobre la periferia metropolitana, exigía una descripción no sólo desde el punto de vista de la centralidad, sino también de la diversidad de funciones.

En un principio se utilizaron como índices

GRAFICO 1



- 1. BILBAO
- 2. BARACALDO
- 3. GUECHO
- 4. PORTUGALETE
- 5. SANTURCE
- 6. DURANGO
- 7. GUERNICA
- 8. BERMEO
- 9. SESTAO
- 10. GALDACANO
- 11. BASAURI
- 12. ERANDIO
- 13. AMOREBIETA
- 14. MUNGUIA
- 15. LEQUEITIO
- 16. ERMUA
- 17. ONDARROA
- 18. ARRIGORRIAGA
- 19. SS. del VALLE
- 20. ORTUELLA
- 21. VALMASEDA
- 22. LEJONA
- 23. GÚEÑES
- 24. ELORRIO
- 25. MARQUINA
- 26. BERRIZ
- 27. ORDUÑA
- 28. ZALLA
- 29. SOPELANA
- 30. ABANTO Y C.
- 31. ECHEVARRI

de diversidad las medidas de información de Shannon, que tiene la forma:

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i$$

y el índice de Pielou, de cálculo más sencillo (PIELOU, E.C. 1975),

$$H = - \log_2 \sum p_i^2$$

que aplicados a las probabilidades regionales de los bienes y servicios toman la forma:

$$H_j = - \sum_{i=1}^{n=121} \left(\frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^{n=121} C_{ij}} \right) \log_2 \left(\frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^{n=121} C_{ij}} \right)$$

para el de Shannon, y

$$H_j = - \log_2 \sum_{i=1}^{n=121} \left(\frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^{n=121} C_{ij}} \right)^2 \quad \text{para el de Pielou.}$$

Siendo H_j la diversidad de funciones en el lugar j , C_{ij} , la centralidad de la función i en el lugar j ; $\sum C_{ij}$, la centralidad del lugar j , y n , el número de funciones.

La entropía máxima posible, al utilizar 121 funciones distintas sería $H_{\max} = \log_2 n = \log_2 121 = 6,92$ bits.

Una vez obtenidos los índices de diversidad, se correlacionaron sus valores con los valores de entropía máxima correspondiente al número de funciones urbanas presentes en cada lugar, situación que aparece representada en el gráfico 1. En el eje vertical de mismo está representada la entropía maximizada, y en el eje horizontal la entropía según el índice de Pielou.

Las rectas confluyentes en el origen señalan intervalos de Redundancia, tomando como tal la relación existente entre la entropía real y la entropía maximizada, de acuerdo con la fórmula:

$$R = 1 - \frac{H}{\log_2 n}$$

El resultado de estos cálculos muestra unos contrastes que merece la pena señalar:

- los valores absolutos de entropía ofrecían un buen contraste jerárquico de los distintos nú-

cleos considerados.

- los valores de redundancia muestran, sin embargo, un considerable aumento en núcleos que desempeñan un papel territorial destacado, especialmente villas con un entorno de municipios rurales: Guernica, Bermeo, Marquina, Munguía, etc, mientras que en núcleos próximos a Bilbao, y de características "periféricas" constatadas por otros indicadores, la redundancia es menor, y, en el sentido de la teoría matemática de la información, la entropía tiende a maximizarse, esto es, las funciones urbanas tienen probabilidades regionales semejantes.

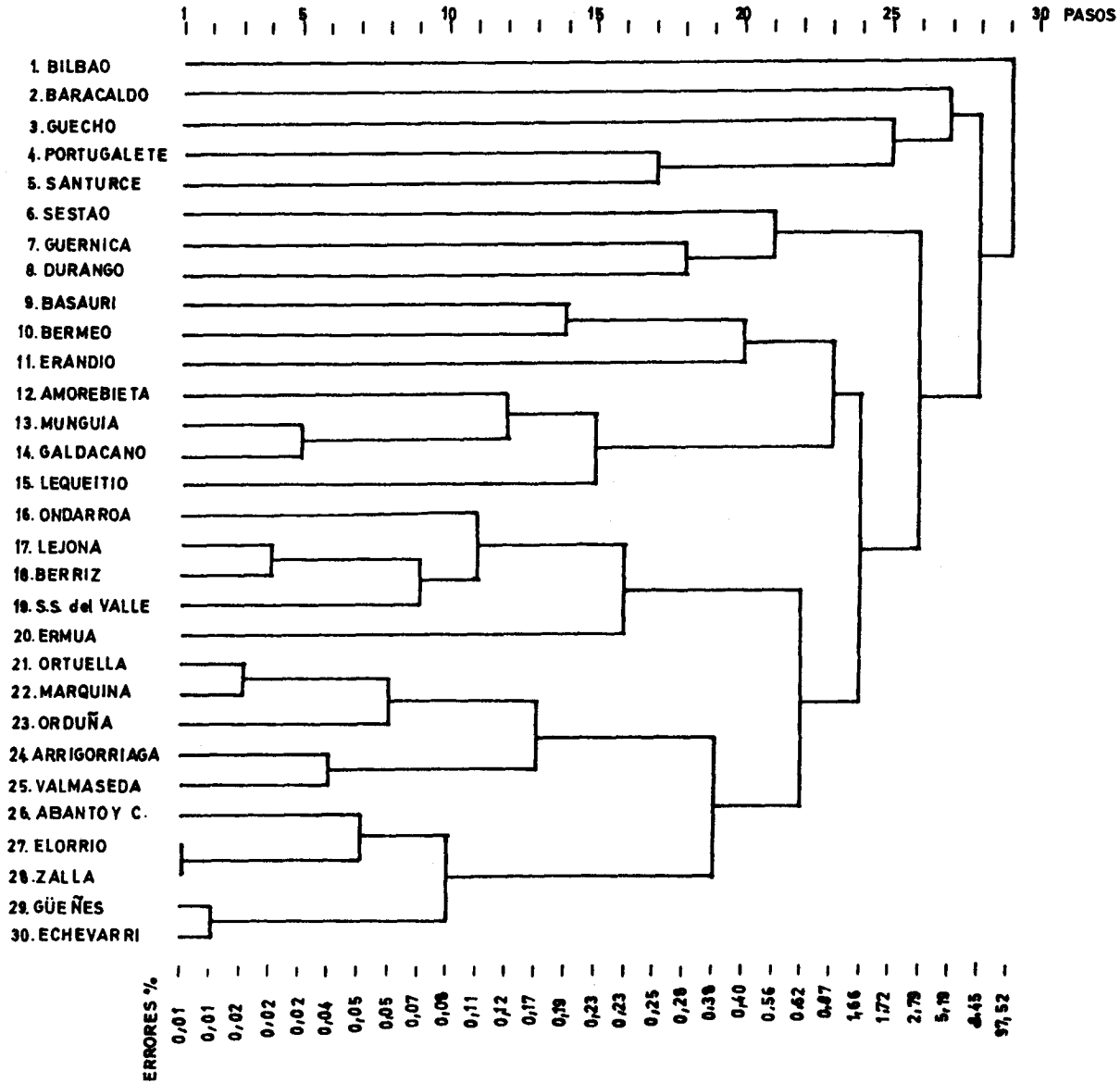
Sin embargo, hay que añadir una consideración: en el índice de centralidad utilizado todas las funciones son equiprobables a nivel regional (el sistema urbano delimitado), y por lo tanto existe una tendencia a la maximización de la entropía en los núcleos de mayor tamaño ya que éstos aportan "más" a la estructura regional.

Los núcleos cuya estructura funcional -a pesar de tener tamaños importantes- se aparta de esta tendencia entrópica, mantienen una mayor heteroprobabilidad en su estructura de funciones urbanas.

Si resulta sencillo interpretar la situación de entropía maximizada, ya que la situación de equiprobabilidad es única, no ocurre así con la heteroprobabilidad de funciones urbanas, que puede producirse bien porque en determinados núcleos la especialización en algunas funciones hace que éstas tengan probabilidades superiores a lo que les correspondería por su tamaño -y de ahí su carácter central-, o bien porque la probabilidad de algunas funciones sea inferior a la esperada por su tamaño. En este segundo caso, esas funciones no tendrían quizá un carácter regional, pero sí una significación importante dentro del núcleo en el que se localizan, ya que, dado su carácter excepcional poseen más "autoinformación", correspondientes con una probabilidad pequeña.

Este efecto puede medirse utilizando como índice de diversidad lo que en el índice de Shannon se denomina "autoinformación" (vid, por ejemplo GIL ALVAREZ, P., 1981), esto es, a la cantidad representada por el logaritmo binario

GRAFICO 2. VIZCAYA: JERARQUIA URBANA SEGUN CENTRALIDAD 1977



de la probabilidad cambiado de signo, de tal forma que el índice sería un sumatorio de la autoinformación de las probabilidades regionales de las funciones urbanas, expresado así:

$$H_j = - \sum_{i=1}^{n=121} \log_2 \left(\frac{C_{ij}}{\sum C_{ij}} \right)$$

Los valores del índice serán más altos conforme exista un mayor número de funciones presente en un asentamiento, y también conforme la probabilidad de las mismas se encuentre "mas desigualmente" repartida en dicho asentamiento.

La utilización del concepto de heteroprobabilidad presupone un peligro, ya que caben infinitas situaciones heteroprobables, y el índice utilizado podría alcanzar valores altísimos en el caso de que existiesen asociaciones de funciones con alta probabilidad regional frente a otras de probabilidad infinitesimal. El ejemplo podría ser que en una gran ciudad existiera únicamente un establecimiento correspondiente a una función de baja centralidad: una tienda de comestibles. Sin embargo, dada la interrelación existente entre las funciones, manifestada en la relación estadística, estas situaciones límite son poco probables.

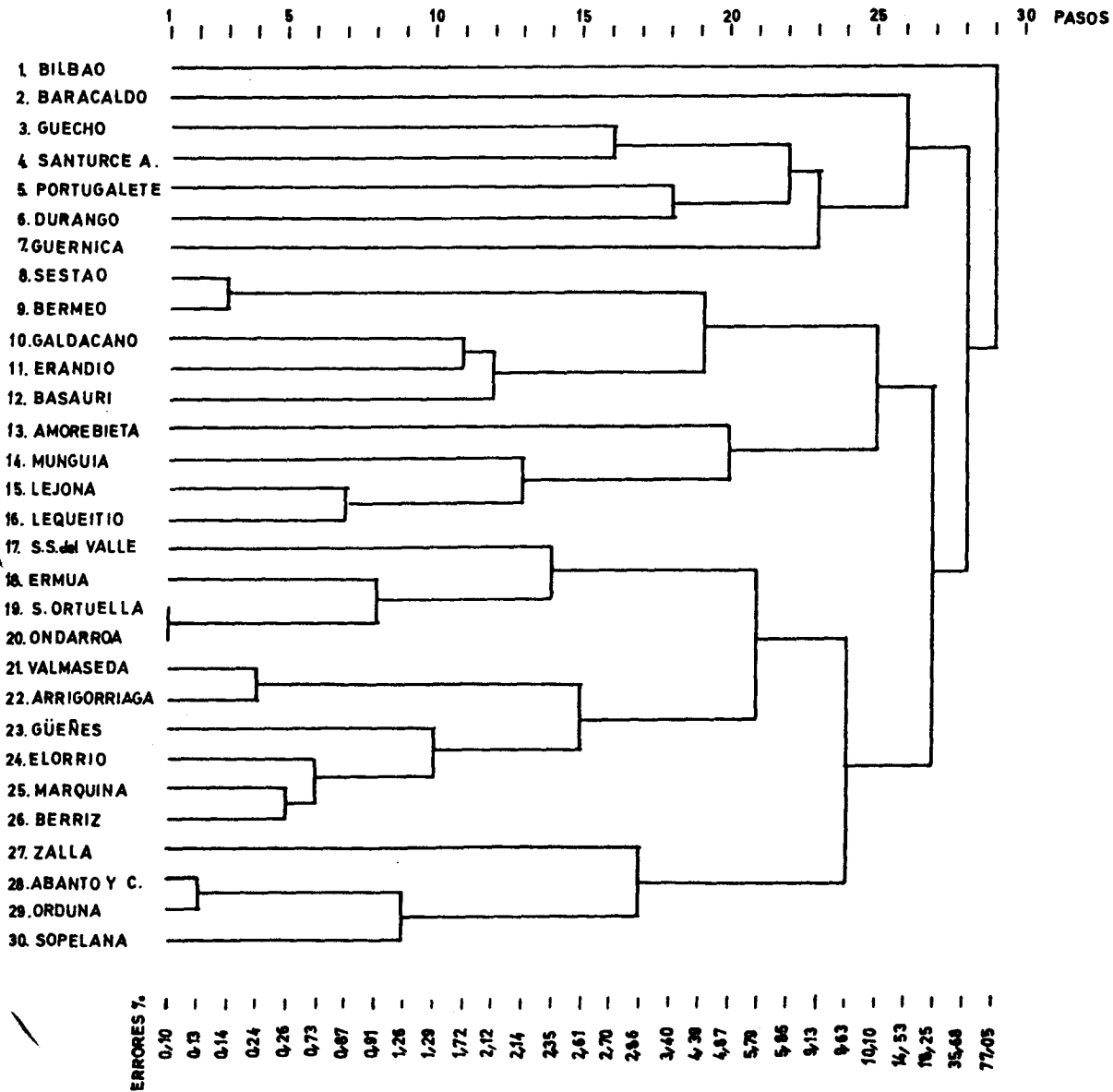
Los resultados de aplicación de este índice han sido satisfactorios, contrastando de modo claro con los índices de centralidad utilizados.

En el gráfico 2 se muestra la jerarquía urbana trazada según el índice de centralidad, y en el gráfico 3 la jerarquía urbana obtenida según el índice de diversidad señalado aquí arriba. Las correlaciones entre la diversidad y la centralidad daban relaciones bajas en lugares de características periféricas (Sestao, Basauri, Erandio, Baracaldo, etc) respecto al área metropolitana de Bilbao.

BIBLIOGRAFIA

- BEAVON, K.S.O. (1981): *Geografía de las actividades terciarias*, Barcelona, Oikos-Tau.
- BERRY, B.J.L. y HORTON, F.E. (1970): *Geographic Perspectives on Urban Systems*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- CURRY, L. (1964): "The random spatial ecology: an exploration in settlement theory", en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 54, p. 138-146.
- CURRY, L. (1981): "Divison of labor from geographical competition" en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 71, p. 165.
- GIL ALVAREZ, P. (1981): *Teoría Matemática de la información*, Madrid, Ediciones ICE.
- GOULD, P.R. (1975): "El plan de estudios abierto en la enseñanza de la geografía", en *Nuevas Tendencias en Geografía* de CHORLEY, R. p. 377-426, Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.
- JUARISTI, J. (1982): *La Estructura Urbana de Vizcaya*. Tesis doctoral Universidad de Navarra, En curso de publicación.
- MARGALEF, R. (1958): "Information Theory in Ecology", en *General Systems*, vol 3, p. 36-71.
- OLSSON, G. (1967): "Central Place Systems, Spatial interaction and Stochastic Processes" en *Papers and Proceedings of Regional Science Association*, vol. 18, p. 13-45.
- PIELOU, E.C. (1975): *Ecological diversity*, Nueva York, Wiley and Sons
- REIF, B. (1978): *Modelos en planificación de ciudades y regiones*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.
- VAN DOBBEN, W.H. y LOWE-MC-CONNELL eds. (1980): *Conceptos unificadores en Ecología*. Barcelona, Blume.
- WEBER, M.J. (1977): "Pedagogy again: what is entropy?" en *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 67, p. 254-266.
- WEBBER, M.J. (1979): *Information Theory and Urban Spatial Structure* Londres, Croom Helm.
- WILSON, A.G. (1970): *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Londres, Pion.

GRAFICO 3. VIZCAYA . JERARQUIA URBANA SEGUN DIVERSIDAD 1977.



WILSON, A.G. (1970): "Inter-regional commodity flows: Entropy maximizing approaches" en *Geographical Analysis*, vol. 2 p. 255-282.