

Juan Antonio Cebrian de Miguel *

M^a Jesús Vidal Dominguez **

Fermina Rojo Pérez ***

(*) Universidad Complutense de Madrid

(**) Universidad Autónoma de Madrid

(***) Instituto Juan Sebastián Elcano del C.S.I.C. de Madrid

SISTEMAS DE CARTOGRAFIA AUTOMATICA

1. INTRODUCCION

Prescindimos en este momento de un análisis pormenorizado de las múltiples realizaciones que en los últimos años se han llevado a cabo, fundamentalmente fuera de nuestro país, en el campo de la cartografía automática, y esto por dos motivos. En primer lugar, porque ya existe otra ponencia en este curso —*Informática y Geografía*— que, en una de sus secciones, va a abordar este tema. En segundo término, porque dada la obligada limitación del espacio de que disponemos, nos parece más operativo centrarnos, después de unas consideraciones de carácter general acerca de lo que significa la tecnología de bases de datos espaciales y cartografía automática en el ámbito de la investigación geográfica, en la descripción de los requisitos de utilización y de las prestaciones de varios programas, que estamos utilizando habitualmente en la presentación de trabajos de investigación en diversos Departamentos de Geografía de las Universidades de Madrid.

Se trata, en su mayor parte, de procedimientos desarrollados por nosotros en los últimos años, aunque también se contempla un importante programa de cartografía automática por impresora de líneas —SYMAP—, elaborado por el "Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis. Harvard University".

La cartografía automática, que podemos

definir a grandes rasgos como el conjunto de técnicas que posibilitan la confección de mapas mediante periféricos gráficos gobernables por un ordenador, aparece intimamente ligada a dos aspectos de singular relevancia en el amplio panorama de la ciencia informática: tratamiento digital de imágenes y definición de bases de datos espacialmente referenciados. El primero de ellos suministra a la cartografía automática las herramientas para tareas tan importantes como son la descripción digital —numérica— de la configuración del espacio y la definición de procedimientos de representación.

El segundo posibilita el almacenamiento coherente de la ingente masa de datos que requiere esta nueva tecnología para poder ser realmente operativa, facilitando su recuperación selectiva a velocidades de vértigo, tanto de la información que describe la configuración de los individuos espaciales, como aquella que se refiere a sus características temáticas.

2. PROPUESTA DE UN SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACION GEOGRAFICA

La organización de la base de datos.—

Tres tareas fundamentales, que se complementan mutuamente, se encuentran involucradas en el desarrollo de un sistema integrado de información geográfica.

La primera de ellas es la definición de un

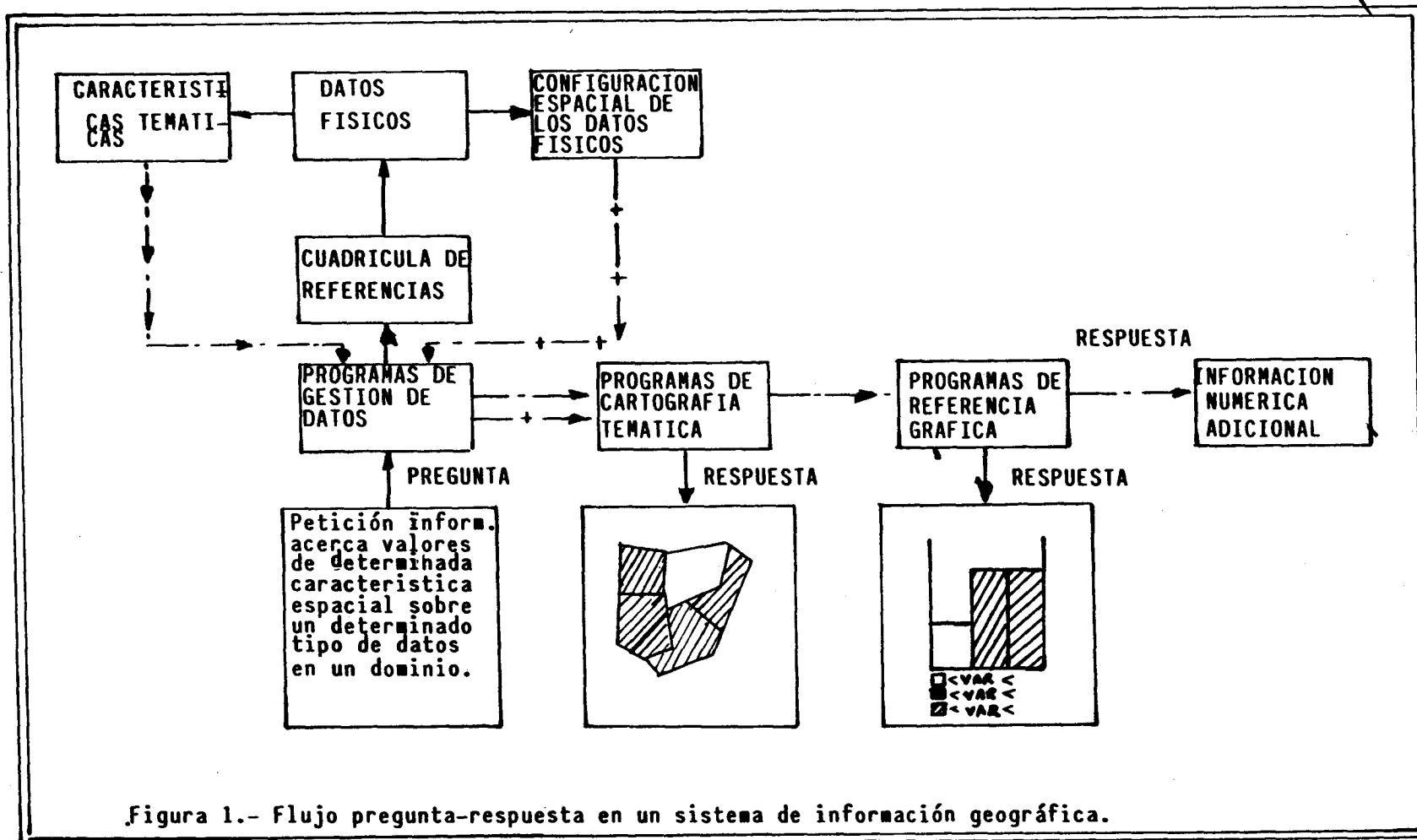


Figura 1.- Flujo pregunta-respuesta en un sistema de información geográfica.

diccionario de códigos numéricos que se correspondan adecuadamente con la naturaleza de los datos que describen.

La segunda consiste en la representación de los datos físicos por su configuración espacial. La tercera, es la plasmación de las diversas características temáticas que afectan a dichos datos.

La tarea de codificación es previa a todas las demás y sumamente importante, ya que ella sola condiciona la calidad del sistema. Cuanto más amplio y lógicamente estructurado sea el diccionario de códigos que se define para calificar cada tipo de dato espacial, más interesantes y completas serán las posibilidades de búsqueda y selección de determinados datos. Por ejemplo, ya se entiende que no es lo mismo disponer de un diccionario de códigos para identificación de datos físicos que se correspondan con el sistema de comunicaciones en el que sólo se contemplen las grandes modalidades del transporte (ferrocarril, carretera, líneas de transporte fluvial, marítimo, aéreo, de energía, etc.), que contar con un diccionario de códigos en el que junto a un código genérico que define una determinada modalidad de transporte, se dispone de una serie de subcódigos que se corresponden con una información más detallada (calidad de la vía de transporte, estado de la misma, etc.).

La representación de los datos por su configuración espacial, requiere la grabación de las coordenadas de los puntos que la definen. En el caso de tratarse de un dato puntual, bastará conocer un par de coordenadas. Si pensamos, en cambio, en un dato lineal o zonal se requerirá la grabación de todas las coordenadas de los puntos que aproximan la poligonal abierta o cerrada, respectivamente, que describe la configuración espacial del dato. Para referirse a este tipo de trabajo se utiliza el término genérico de digitización —también es frecuente utilizar la palabra digitalización—. Existen máquinas electrónicas (digitizadores y scanners) que realizan esa tarea de una forma más o menos automática, liberando al hombre de un trabajo que es costosísimo —irrealizable cuando se trabaja en proyectos de digitización de una cierta envergadura— si se efectúa manualmente.

Una vez realizada la descripción digital de

la configuración espacial de un determinado dato, se averigua a qué cuadrículas de un sistema general de referencias afecta. Esta conversión facilitará enormemente la recuperación de dicho dato.

Finalmente, la plasmación de las características que afectan a los datos espaciales, requiere, por un lado, una labor de documentación exhaustiva que consiste en ir sondeando y grabando en soportes informáticos, los valores de las características más interesantes, y por otro el diseño ininterrumpido de programas automáticos de representación gráfica.

A la vista de todo lo anterior, los diversos procedimientos de representación de la variación de características espaciales, aunque tienen valor en sí mismos y son utilizables en trabajos de Geografía de ámbito restringido, encuentran su pleno sentido cuando se incorporan, como canal de salida de la información, a un sistema integrado de bases de datos espaciales.

Presentamos a continuación, (Fig. 1), mediante un diagrama sencillo, el flujo pregunta-respuesta coherente con lo que acabamos de señalar, en un sistema integrado de información geográfica.

Calidad de la representación y periféricos gráficos utilizables.—

Centrándonos ya en las salidas gráficas que debe ofrecer un sistema de información geográfica, nos planteamos qué herramientas gráficas de diseño debe poseer para ofrecer al investigador una representación visual —la más sintética— de la realidad que intenta desentrañar y cuáles son los periféricos gráficos más adecuados a utilizar en función de las necesidades y de la relación coste/eficiencia, en cada caso.

Atendiendo a la primera cuestión, tenemos que distinguir dos grandes grupos de tratamientos gráficos: diagramas y mapas.

Los primeros expresan gráficamente las variaciones intrínsecas de una, dos o más características, prescindiendo de la componente espacial —diagramas uni, bi y multivariados—.

Los segundos tienen en cuenta para su re-

presentación la localización o distribución de un determinado fenómeno, ya sea físico o georeferenciable, bien en el espacio real, bien en algún espacio relativo o transformado.

Por lo que respecta a la segunda cuestión, lo más adecuado es disponer las cosas en orden a un aprovechamiento racional de los periféricos gráficos conectables a un sistema de tratamiento gráfico de la información.

Desde esta perspectiva el sistema debe responder en primera instancia, ofreciendo unos croquis aproximados, realizados con la impresora de líneas, que es el sistema más rápido y económico.

Más adelante, si a la vista de los croquis mediante impresora se exige una representación gráfica de mayor calidad estética y de más adecuada precisión, se pueden confeccionar diagramas o cartogramas utilizando una pantalla de rayos catódicos. Este procedimiento permite, mediante programas interactivos la selección de la representación más adecuada a las necesidades.

Solamente cuando se haya llegado a la confección de la representación óptima, se debe ofertar una salida gráfica no perecedera, mediante cualquiera de los sistemas disponibles: plotter térmico, trazador incremental, dicomed, etc....

En el caso de los diagramas, dado que el nivel de precisión requerido no es muy exigente, lo más adecuado es ofrecer resultados mediante impresora de líneas, ya que en la mayoría de los casos la confección de un diagrama no tiene más sentido que lograr una visión sintética e intuitiva de la distribución intrínseca de un fenómeno.

Si se pretende, en cambio, la confección de un mapa, lo más apropiado es ofrecer, paulatinamente, salidas gráficas, de creciente calidad y precisión.

Definición de Tareas.—

La petición de una representación gráfica espacial puede tener tres objetivos fundamentales:

— localización de un hecho físico o georeferenciable.

— explicitación de la variación de una determinada característica física o georeferenciable.

— plasmación de flujos de intercambio.

La representación de la localización de hechos físicos o georeferenciables se lleva a cabo mediante la utilización combinada de rótulos y signos convencionales, asociados a las coordenadas geográficas de los puntos en que tiene lugar el fenómeno. En este sentido es vital dotar al sistema de un repertorio de signos convencionales lo más flexible y completo posible.

No presentamos ahora ningún procedimiento de este tipo, porque, aunque existen realizaciones aisladas, todavía no está desarrollado definitivamente el paquete de programas de cartografía temática, mediante signos convencionales ponderados, en el que estamos trabajando un equipo de personas.

Por el momento, la minuta de signos ponderados, reproducibles automáticamente, comprende los siguientes elementos: círculos, cuadrados, triángulo equilátero, mota circular, mota cuadrada, mota triangular y diagrama circular tramado.

El símbolo aparece centrado sobre el punto en el que se localiza el fenómeno a representar —cuyas coordenadas ha de introducir el usuario previamente—. El tamaño del símbolo lo calcula un subprograma, en función de la intensidad del fenómeno en cada punto de la representación.

El tipo de símbolo es algo que debe decidir también el usuario y comunicarlo al programa de dibujo, mediante el código numérico que le corresponda.

Actualmente se trabaja en tres líneas fundamentales:

— redacción de subprogramas que realizan nuevos tipos de signos convencionales.

— resolución de los problemas de escala gráfica, rótulos y leyendas, del mapa temático resultante.

— definición de un programa de control y entrada de datos que facilite la utilización de

este tipo de procedimiento a personas sin excesivos conocimientos informáticos.

El resultado final será un sistema flexible en la línea de los trabajos de Kern y Rushton (1969) y de Monmonier, M.S. (1969), que permitirá obtener interactivamente una gran variedad de mapas temáticos de gran precisión y calidad.

Por otra parte, la representación de la distribución espacial —variación— de una característica física o georeferenciable, se puede llevar a cabo mediante dos vías: discreta y continua.

En este sentido es necesario, en primer lugar, dotar al sistema de procedimientos que plasmen la variación discreta de una característica: compartimentación del espacio en polígonos geográficamente significativos y utilización de tramas (representación bidimensional), o levantamiento de prismas de altura proporcional al peso de la variable sobre dichos polígonos (representación tridimensional en perspectiva).

Para hacer frente a la representación de la variación continua de características se requiere disponer de programas de dibujo automático de isolíneas (representación bidimensional), o de bloques diagrama (representación tridimensional en perspectiva), asociados a los programas de interpolación más adecuados a cada procedimiento.

La adaptación de una subrutina de dibujo de isolíneas para la representación de la variación continua de una característica espacial, desarrollada por el VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY (1975), acaba de concluirse. A pesar de ello, no se encuentra todavía disponible para una utilización masiva.

Sí se encuentra, en cambio, accesible un programa de representación de la variación continua de una característica mediante bloques diagrama en perspectiva.

Finalmente, la plasmación de flujos espaciales de intercambio es una tarea que también ha sido acometida, pero que todavía no se encuentra suficientemente desarrollada. Por el momento, se dispone de dos tipos de procedimientos. El

primero para representar flujos espaciales mediante flechas ponderadas (1). El segundo, para representar áreas de dependencia respecto a un núcleo organizador, mediante radios dirigidos desde cada polo a sus tributarios (2).

En este sentido, se prevee que, previa una discusión detallada para definir que tipo de tratamientos gráficos son los más adecuados para plasmar los intercambios dinámicos que se producen entre las diversas compartimentaciones del espacio, se podrá disponer de un sistema de representación de flujos adaptado a las necesidades de la investigación geográfica —partiendo, por supuesto, de una información espacial almacenada digitalmente—.

2. NATURALEZA DE LOS DATOS QUE PRESUPONEN LOS PROCEDIMIENTOS DE CARTOGRAFIA AUTOMATICA CONSIDERADOS

Digitización de la configuración de elementos espaciales.—

La descripción digital de un elemento espacial se realiza mediante las coordenadas de los puntos que lo constituyen. Los sistemas de coordenadas pueden ser muy diversos pero, para evitar complicaciones, vamos a referirnos exclusivamente al sistema de coordenadas cartesianas, en el que cada punto viene caracterizado por los valores de sus proyecciones sobre un haz de ejes ortogonales —en el plano, 2—.

Como ya hemos señalado más arriba, si se trata de un elemento puntual, un par de números será suficiente para su identificación, si se trata, en cambio, de un elemento lineal o zonal, se requerirá la consideración de una lista de coordenadas que se correspondan con los puntos de la poligonal abierta o cerrada que aproxime su forma.

Si disponemos de esta información en una base de datos, el único problema estriba en recuperarlos adecuadamente. Si no es así, es necesario digitalizar los elementos. Esta tarea puede ser realizada automática o semiautomáticamente por el empleo de las máquinas apropiadas —scanners o digitizadores—, pero en el caso de tener que ser realizada a mano se ha de recurrir a un tratamiento como el que se describe a continuación.

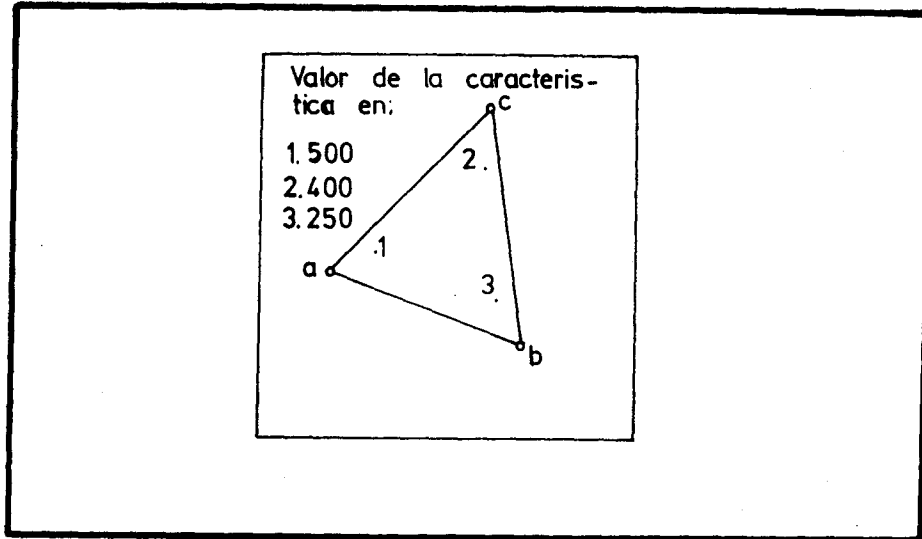


FIG. 2

Datos necesarios para la elaboración de un bloque diagrama.

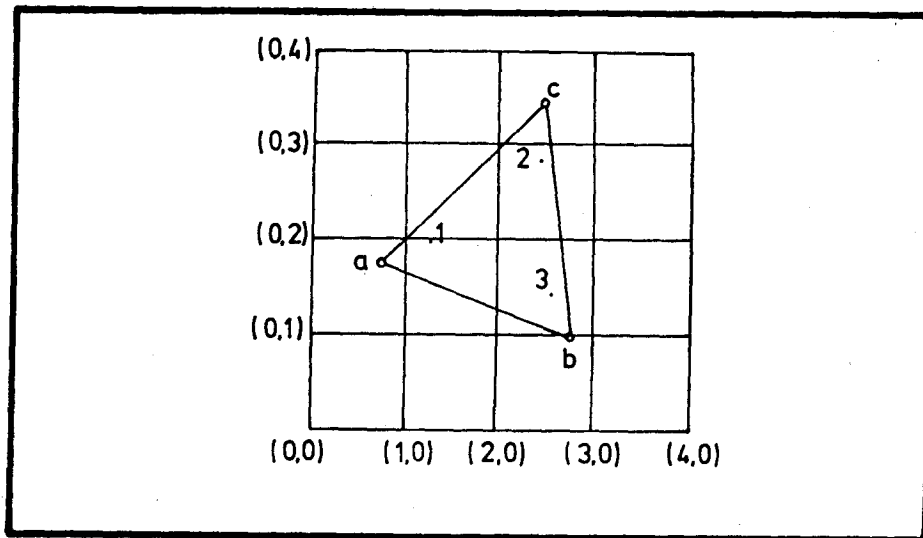


FIG. 3

Datos necesarios para la elaboración de un bloque diagrama

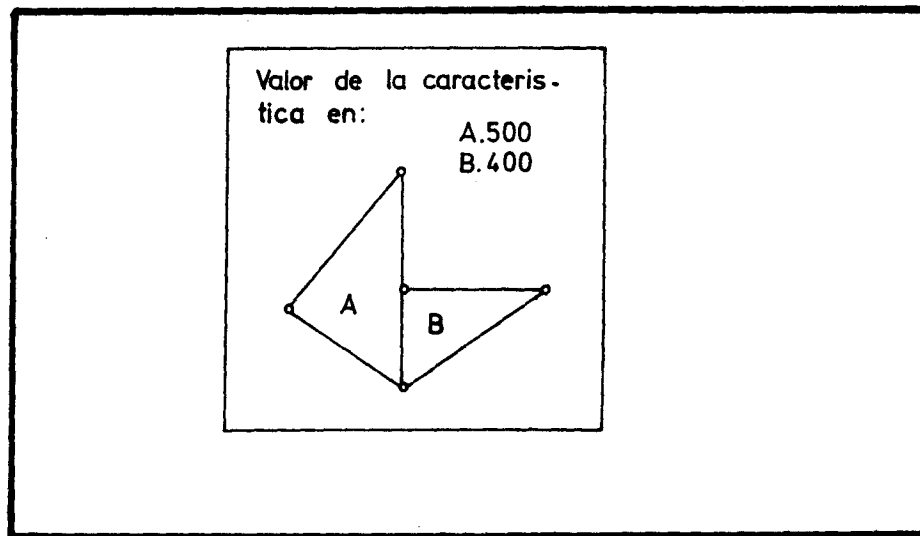


FIG. 4

Datos necesarios para la utilización del programa PRISMAS.

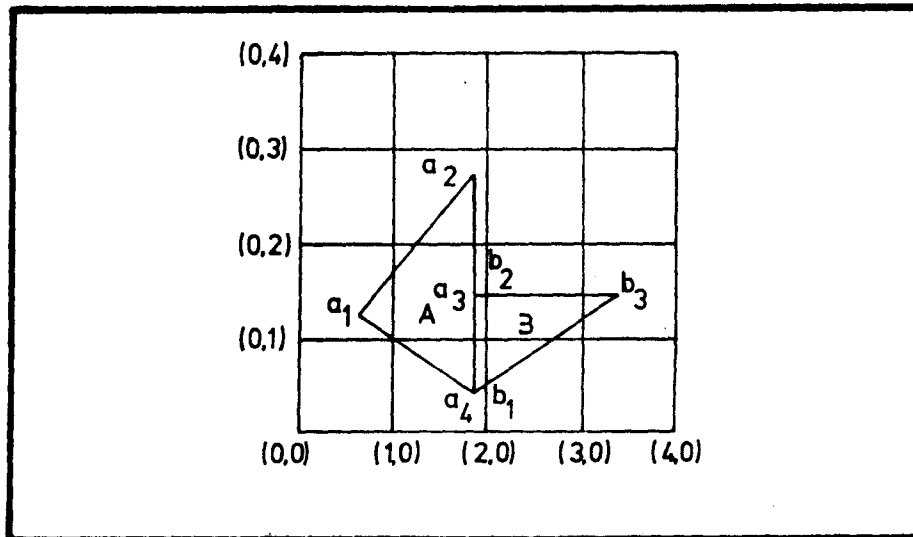


FIG. 5

Datos necesarios para la utilización del programa PRISMAS.

Se superpone sobre el mapa de referencia una retícula ortogonal y se define un origen de coordenadas. Posteriormente se van anotando las coordenadas de todos los puntos.

Supongamos un caso en el que se considera un contorno muy simple en cuyo interior se ha sondeado la característica en sólo tres puntos (Fig. 2).

De la figura 3 puede deducirse fácilmente que el contorno queda descrito por la sucesión de los tres pares de coordenadas que corresponden a los vértices del triángulo:

	X	Y
a	0.9	1.9
b	2.8	1.0
c	2.5	3.5

Por otra parte, la localización espacial de los puntos en que se ha sondeado la característica queda definida de la siguiente manera:

	X	Y
1.	1.4	2.0
2.	2.3	2.8
3.	2.5	1.5

Si se trata, en cambio, de obtener por ejemplo, una representación de la distribución de una característica sobre dos espacios definidos por sus contornos (Fig. 4), superponemos un retículo ortogonal y definimos un origen de coordenadas (Fig. 5).

Los dos contornos quedan descritos de la siguiente manera:

Contorno A

	X	Y
a1	0.6	1.3
a2	1.8	2.9
a3	1.8	1.5
a4	1.8	0.6

Contorno B

	X	Y
b1	1.8	0.6
b2	1.8	1.5
b3	3.5	1.5

Características Temáticas.—

Cada elemento espacial reúne siempre un conjunto de atributos temáticos. Esta información puede encontrarse ya grabada y almacenada en soportes informáticos, o ha de ser vaciada y codificada por primera vez. En ambos casos el resultado final debe ser la creación de una lista de valores de la característica sobre los diversos elementos espaciales cuyo orden sea coherente con aquel en que éstos han sido descritos.

En el primer ejemplo:

	P
1.	500
2.	400
3.	250

En el segundo:

	P
Contorno A (1º)	500
Contorno B (2º)	400

3. DESCRIPCION DE LAS PRESTACIONES DE LOS PROGRAMAS

El SYMAP es un programa de cartografía automática por impresora de líneas, en un espacio bidimensional. Es uno de los programas más utilizados debido a su versatilidad, además de ser uno de los primeros realizados en cartografía automática.

El programa fue diseñado por Howard T. Fisher, en 1965, en la Universidad de Harvard, donde llegó a ser director del Laboratorio de Gráficos por Ordenador y Análisis Espacial. El término SYMAP es un acrónimo de SYNagraphic MAPPING que significa "actuando juntos gráficamente", (MONONIER, M. S., 1982).

Numerosas modificaciones fueron hechas al programa en el laboratorio, cada una de ellas mejorada sobre la anterior y recogiendo nuevas prestaciones. La versión más reciente permite realizar el análisis de Superficies de Tendencia Espacial.

Los datos que necesita el programa pueden ser manipulados, agregados y ponderados de la forma que desee el usuario llegándose a la elaboración de tres tipos de mapas que son:

– Mapa de Isolíneas:

Dentro del contorno general del área a cartografiar, se obtienen una serie de líneas que unen puntos de igual peso de la variable (isolíneas).

Las líneas del contorno salen de los datos del plano, seleccionando determinados niveles en función de la escala del mapa y del rango del dato. La interpolación es la misma que se describe en el programa DIABLOCK. (Fig. 6).

– Mapa de Coropletas:

El contorno general de la zona a cartografiar se divide en subzonas que están identificadas mediante un contorno delimitado por un número de vértices. En cada una de ellas se dibuja un tipo de trama, de acuerdo con el valor que alcanza en ellas la variable a cartografiar. El procedimiento de interpolación es el mismo descrito en el programa PRISMAS. (Fig. 7).

– Mapa de Proximidad:

Al igual que el mapa de coropletas, el resultado está formado por una serie de subzonas espaciales inscritas en el área general. La diferencia entre éste y el de coropletas consiste en su procedimiento de delimitación de las subáreas; en el mapa de coropletas han sido definidas previamente por el usuario mientras que en el de proximidad se generan de manera automática siguiendo el procedimiento de los polígonos de Thiessen. (Fig. 8).

El programa está escrito en FORTRAN IV, en un principio aplicado al ordenador IBM 709, en la actualidad puede utilizarse en ordenadores similares pero con equipos de gran capacidad.

b) Información básica para el funcionamiento del programa y su organización.—

A pesar de que cada modelo de mapa requiera un tipo de información, esta consta de:

a) Coordenadas de localización de los vértices del contorno a cartografiar, de los centroides, de los vértices de las barreras, de leyendas, títulos o textos que el usuario desee que aparezcan impresos en el mapa de salida.

La medición de coordenadas (método de digitización que se ha descrito anteriormente) puede hacerse de dos maneras, y la elección de

una u otra ha de indicarse al ordenador oportunamente.

– Medir las filas y columnas:

Este sistema es posible facilitarlo por medio de una regla especial para el SYMAP, que lleva impresas dos escalas, una para hacer medidas en sentido vertical desde el origen (ángulo superior izquierdo) hacia abajo, y otra para las medidas horizontales desde el origen hacia la derecha; así, esta regla se divide en celdas, numeradas en ambas escalas, que tienen un 1/6 ó 1/8 de pulgada de altura, y un 1/10 de pulgada de anchura. La localización de un punto se especifica por el número de fila y de columna.

– Unidades de medida en escala decimal:

Método descrito anteriormente. El programa transformará estas coordenadas en el sistema de filas y columnas. De igual manera la información impresa en el mapa de salida está referida al sistema de filas y columnas.

b) Valores de la variable a cartografiar, referidos a las subzonas, en el caso de mapas de coropletas, o a los centroides en el caso de mapas de isolíneas y proximidad.

c) Caracteres de las leyendas y demás textos.

d) Diferentes alternativas para la realización de mapas.

Toda esta información necesaria para el funcionamiento del programa, se le hace llegar al ordenador dividida en “paquetes” cada uno de los cuales contiene todo lo referente a un tema determinado, de entre todos los que son precisos para realizar un mapa. La organización de los paquetes de información es muy similar en todos los casos, si se emplea el procedimiento al que nos vamos a referir. En general, estas partes comunes de cada paquete se resumen en los siguientes grupos de tarjetas:

– Tarjeta de nombre de paquete: lleva impresos los distintos nombres de los ‘paquetes’, precedidos de una letra inicial desde la A a la F —según la secuencia de su situación dentro del programa empezando en la columna 1.

FIGURA 6

Intervalos.-
Mapa de COROPLETAS.

DATA VALUE EXTREMES ARE 25128.00 3527870.00

ABSOLUTE VALUE RANGE APPLYING TO EACH LEVEL
('MAXIMUM' INCLUDED IN HIGHEST LEVEL ONLY)

MINIMUM	25128.00	50127.09	100125.25	200121.63	300118.00	525109.81
MAXIMUM	50127.09	100125.25	200121.63	300118.00	525109.81	3527870.00

PERCENTAGE OF TOTAL ABSOLUTE VALUE RANGE APPLYING TO EACH LEVEL

0.71	1.43	2.85	2.85	6.42	85.73
------	------	------	------	------	-------

FREQUENCY DISTRIBUTION OF DATA POINT VALUES IN EACH LEVEL

LEVEL	1	2	3	4	5	6
SYMBOLS	.....	+++++	XXXXXXXXX	000000000	000000000	000000000
FREQ	6	8	13	9	7	7
1	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
2	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
3	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
4	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
5	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
6	I..I..I	I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
7		I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
8		I++2++I	IXX3XXI	I00400I	I00500I	I00600I
9			IXX3XXI	I00400I		
10			IXX3XXI			
11			IXX3XXI			
12			IXX3XXI			
13			IXX3XXI			

FIGURA 6

C POBLACION URBANA DE ESPAÑA

C

C

ELECTIVE

14 MARGIN SHIFTS ARE 0.50 AT TOP,

0.50 AT LEFT,

0.50 AT BOTTOM, AND

0.50 AT RIGHT

27 CONTOUR OR PROXIMAL MAP

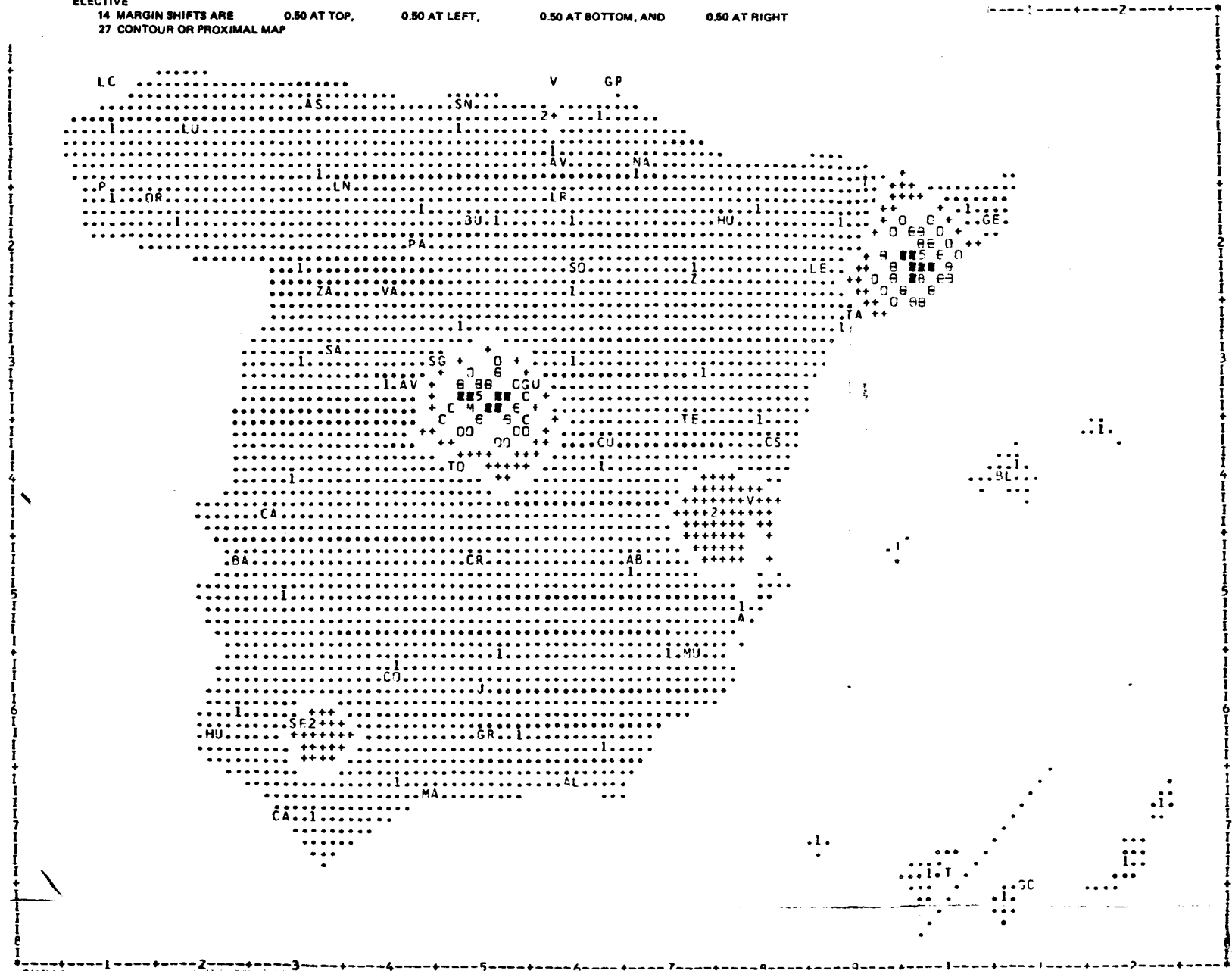


FIGURA 7

Mapas de ISOLINEAS y PROXIMIDAD.

CATA VALUE EXTREMES ARE 25128.00 3527870.00

ABSOLUTE VALUE RANGE APPLYING TO EACH LEVEL
(‘MAXIMUM’ INCLUDED IN HIGHEST LEVEL ONLY)

MINIMUM	25128.00	725676.38	1426224.00	2126773.00	2827321.00
MAXIMUM	725676.38	1426224.00	2126773.00	2827321.00	3527870.00

PERCENTAGE OF TOTAL ABSOLUTE VALUE RANGE APPLYING TO EACH LEVEL

20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
-------	-------	-------	-------	-------

FREQUENCY DISTRIBUTION OF DATA POINT VALUES IN EACH LEVEL

LEVEL	1	2	3	4	5
SYMBOLS	.....	+++++	00000000	66666666	88888888
	.....	+++++	00000000	66666666	88888888
	.....1.....	++++2++++	00003000	66664666	88885888
	.....	+++++	00000000	66666666	88888888
	.....	+++++	00000000	66666666	88888888
FREQ.	50	3	0	0	2

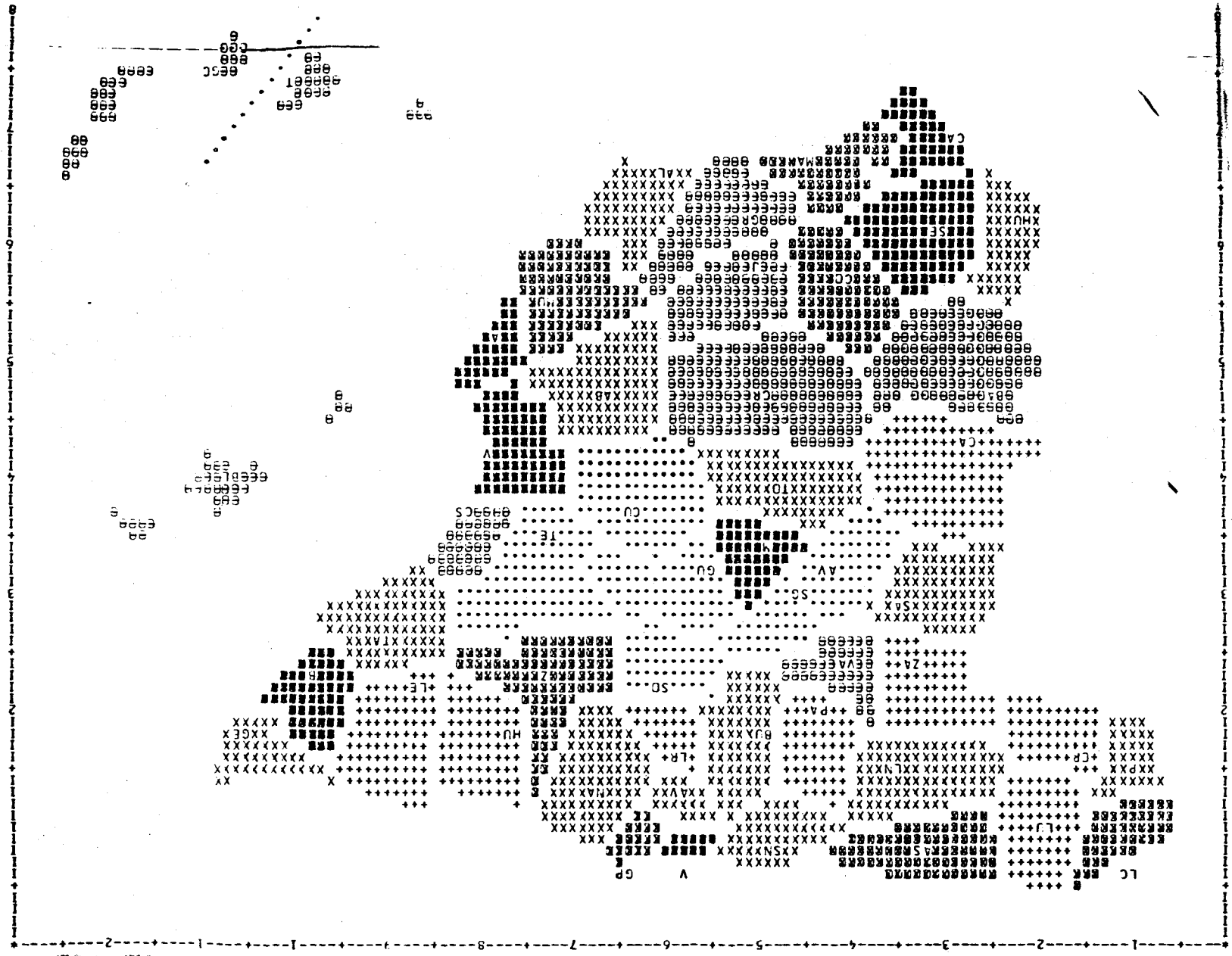


FIGURA 7

FIGURA 8

Mapas de ISOLINEAS y PROXIMIDAD.

CATA VALUE EXTREMES ARE 25128.00 3527870.00

ABSOLUTE VALUE RANGE APPLYING TO EACH LEVEL
(‘MAXIMUM’ INCLUDED IN HIGHEST LEVEL ONLY)

MINIMUM	25128.00	725676.38	1426224.00	2126773.00	2827321.00
MAXIMUM	725676.38	1426224.00	2126773.00	2827321.00	3527870.00

PERCENTAGE OF TOTAL ABSOLUTE VALUE RANGE APLYING TO EACH LEVEL

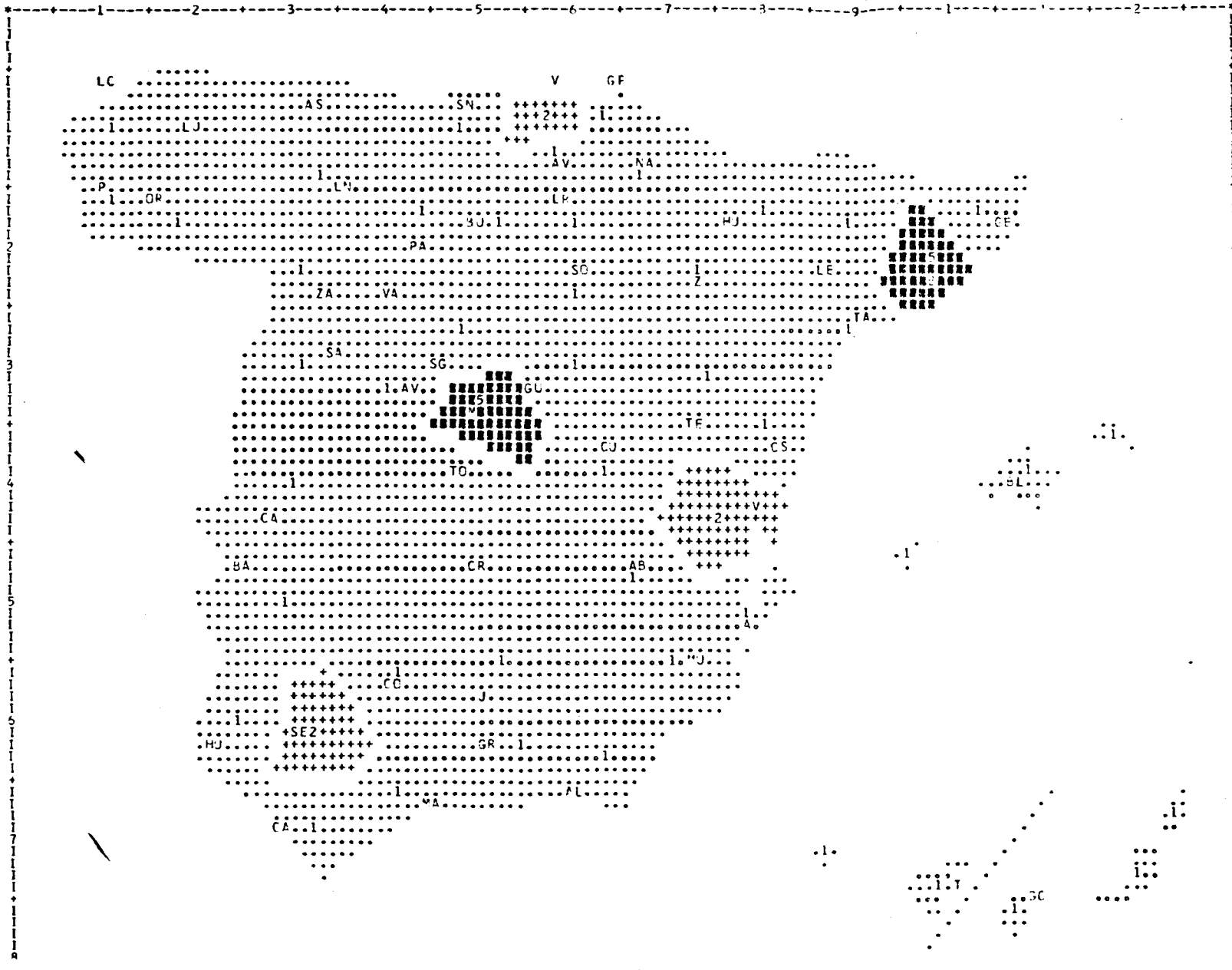
20.00 20.00 20.00 20.00 20.00

FREQUENCY DISTRIBUTION OF DATA POINT VALUES IN EACH LEVEL

LEVEL	1	2	3	4	5
SYMBOLS	.....	+++++	00000000	88888888	55555555
FREQ.	50	3	0	0	2

FIGURA 8

ELECTIVE
14 MARGIN SHIFTS ARE 0.50 AT TOP, 0.50 AT LEFT, 0.50 AT BOTTOM, AND 0.50 AT RIGHT
27 CONTOUR OR PROXIMAL MAP
31 FRACTIONAL EXTRAPOLATION IS 0.0
36 PROXIMAL TYPE MAP
37 VALUE COMPUTED INDEPENDENTLY FOR EVERY CHARACTER



– Tarjeta de datos de cada paquete: según el paquete de información, estos datos pueden ser:

– Coordenadas de localización:

Se utiliza una tarjeta para cada par de coordenadas, perforando el punto vertical entre las columnas 11–20 y el horizontal entre la 21–30, como números decimales ajustados a la derecha del campo reservado.

– Valores de la variable a cartografiar:

Solamente puede asociarse un valor por cada subzona o centroide; se perforan entre las columnas 11–20 como números decimales ajustados a la derecha.

– Textos de las leyendas:

Reproduce un texto compuesto de cualquier carácter o símbolo. Las posiciones de perforación son algo más complejas.

En las tarjetas de datos, las columnas 73 y 80 están reservadas para la ordenación numérica de las mismas.

– Tarjeta fin de paquete: lleva perforada la cifra 99999 que indica el final de cada paquete de información.

– Tarjeta fin de programa: se indica que han terminado todos los paquetes de información perforando la cifra 99999.

Los paquetes de información que puede utilizar el programa son:

A–OUTLINE

Este paquete es específico para la representación del contorno general a cartografiar y contiene las coordenadas de los vértices de dicho contorno.

A– CONFORMOLINES

Contiene las coordenadas de localización de las subzonas en que se haya dividida el área de estudio. Las subzonas deben tener un orden lógico establecido por el usuario, ya que los valores de la variable (paquete E–VALUES) van a ser asociados correlativamente a cada área.

Las áreas –tanto en el paquete A–OUTLI–

NE como en el A–CONFORMOLINES– deben simplificarse como se desee, de manera que el número mínimo de vértices de cada una de ellas ha de ser 3 y el máximo 100. Los vértices, que ocupan cada uno una tarjeta, se ordenan comenzando por el más elevado en latitud y continuando en el sentido de las agujas del reloj. El contorno se considerará cerrado repitiendo el primer par de coordenadas; si hay dos o más vértices a igual latitud se comenzará por el más alejado del origen.

B–DATA POINTS

Este paquete lleva perforadas las coordenadas de localización de los centroides a los que se asignará un valor de la variable. El orden de los centroides ha de ser coherente con el establecido en el paquete E–VALUES.

C–OTOLEGENDS

Se emplea para localizar dentro de los bordes rectangulares en que se inscribe el mapa una información suplementaria: títulos, leyendas, etc., y contiene las coordenadas de dicha información y los caracteres de la misma.

En este paquete se pueden especificar tres tipos de leyendas:

–leyenda puntual

–leyenda lineal

–área leyenda

cada una de las cuales se asocia con una figura en el mapa.

D–BARRIERS

Este paquete es específico para evitar la interpolación entre dos conjuntos de centroides, reflejando el probable efecto de un obstáculo. El sistema de digitización de los vértices de las barreras es el mismo que el descrito para los paquetes de coordenadas del contorno y de las subáreas. Permite que las barreras actúen con diferentes pesos, que establecerá el usuario.

E–VALUES

Contiene los valores de la variable a cartografiar. Estos valores han de llevar el orden establecido en las subzonas, según los casos. En el caso de que el orden de los valores y de las razones no sea el mismo, el programa permite la utilización del paquete E1–VALUES INDEX que modifica, a gusto del usuario, el orden estable-

cido.

F-MAP

Este paquete lleva perforadas las instrucciones necesarias para la realización de un mapa —por cada mapa que se precise, es necesario un paquete F-MAP— basado en la información de los paquetes anteriores. Asimismo, este paquete puede llevar especificaciones alternativas para la realización de un mapa con opciones no estándar.

El paquete A-CONFORMOLINES define un mapa de subzonas o coropletas; también, en ausencia del apurte A-OUTLINE y B-DATA POINTS, puede utilizarse para hallar los centroides a los que referir los valores en el caso de mapas de isóneas y de proximidad.

c) Flexibilidad del programa SYMAP.—

Un aspecto importante del programa SYMAP es su flexibilidad (Vidal Domínguez, M.J., y Rojo Pérez, F., 1983), flexibilidad que le viene dada por el paquete de opciones y por la subrutina Flexin.

— Las opciones son alternativas que ayudan a la realización del mapa tal y como se desee. Existen treinta y siete opciones, entre las que cabe citar: modificar la escala del mapa, especificar el número de intervalos de clase, indicar el valor máximo y mínimo del rango de la variable a cartografiar, amplitud de los intervalos, modificación de los símbolos que definen la clase de los intervalos, número de caracteres por pulgada tanto vertical como horizontalmente, definición de un mapa de proximidad, etc.

— El uso de la subrutina FLEXIN es opcional, pues sólo se utiliza en el caso de que los datos de los diferentes paquetes de información no tengan el formato estándar de perforación del SYMAP, como bien indica su nombre FLEXible INput (entrada flexible).

La subrutina Flexin lee el paquete especificado por el usuario con el formato de perforación descrito y lo transmite al programa principal con el formato estándar.

El paquete que la subrutina FLEXIN suele modificar es el E-VALUES, aunque podría mo-

dificar cualquier otro paquete.

La subrutina FLEXIN ha de ser programada en FORTAN IV, debiendo cada usuario programar su propia versión puesto que la manipulación de los datos depende de las necesidades de cada usuario.

El programa COROMAP.—

Realiza automáticamente mapas de coropletas gobernando un plotter de pluma.

Este procedimiento requiere conocer la descripción digital de los contornos de las áreas que van a ser objeto de la representación.

Partiendo de esta información espacial, el programa COROMAP investiga, en primer lugar, el fichero de valores de la característica correspondientes a las unidades en cuestión, para realizar una clasificación previa de éstas. Se ha pretendido ofertar una gama lo más amplia posible de procedimientos de clasificación, con vistas a obtener la respuesta más adecuada a cada demanda específica.

Con un tope máximo de 10 intervalos de clase —ya que hemos considerado que es éste un límite que no puede rebasarse sin riesgo para la legibilidad del mapa—, se puede optar cómodamente por el número de ellos que se considere más apropiado y por diversos criterios de adscripción de cada caso a cada grupo de la clasificación: clasificación en intervalos de igual amplitud, clasificación en umbrales previamente definidos, clasificación en centiles y en unidades de desviación estándar.

También se dispone de un algoritmo de clasificación por distancias euclídeas mínimas en un espacio de n dimensiones —máximo diez—, para la definición de grupos homogéneos en función de varias características ortogonales —obtenidas, normalmente, mediante algún tipo de análisis factorial—. Este procedimiento está diseñado de tal manera que se puede acceder a él a partir de una matriz de distancias previamente calculada. De esta manera también puede ser utilizado para definir grupos homogéneos a partir de distancias funcionales, por ejemplo.

Para la representación cartográfica de los

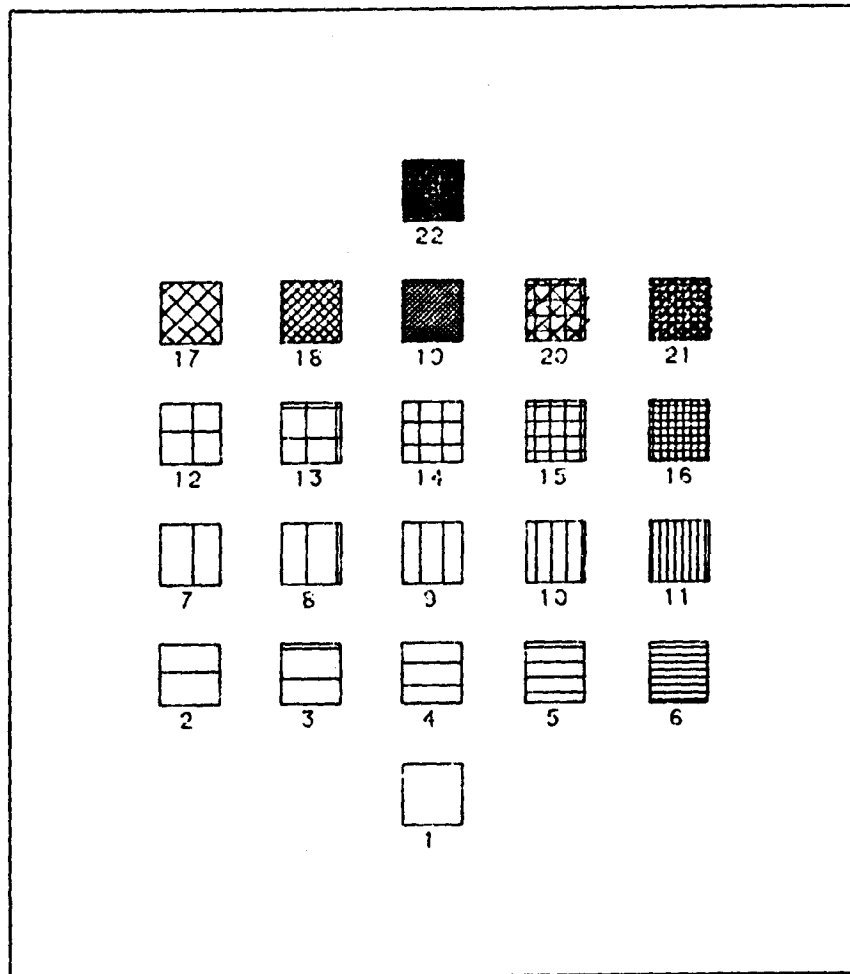


Figura 9

Tabla de tramas.

grupos previamente definidos, se dispone de una tabla de tramas —hasta el momento 22—, por las que se puede optar fácilmente por medio del entero que las identifica (Fig. 9).

Como puede comprobarse, todas las tramas disponibles hasta el momento son combinaciones de rayados de diversas inclinaciones y separaciones de líneas. Para su reproducción en el interior de un contorno determinado es necesaria la conjunción de varias rutinas de rayado y giro de polígonos: TRAMA, TRAMEL, RAY, REORG, G1 y G2.

La minuta de tramas puede ampliarse con facilidad —basta experimentar otras combinaciones de número de rayados e intensidad e inclinación de los mismos—, pero hemos preferido esperar a que se produzcan demandas concretas de usuarios que nos queden totalmente satisfechas por las tramas ya definidas.

No se han considerado tramas en distintos colores, porque la mayor expresividad que, a veces, suele conseguirse con ello no compensa las dificultades y encarecimiento de la reproducción en imprenta a varias tintas. De cualquier forma, si se solicita una representación en diversos colores, se puede obtener sin dificultad, con ligeros cambios, ya previstos, en el programa de tramado de áreas.

En el momento presente se trabaja en nuevos modelos de tramas, por combinación de símbolos centrados.

Después de dibujar los contornos y tramarlos coherentemente, se recurre a diversas rutinas de rotulación e ilustración del mapa —TITULO, MARCO1, DIAGRM y LEGEND—, que lo enriquecen con un rótulo expresivo de 240 caracteres máximo, un diagrama de frecuencias y una leyenda explicativa. El resultado, como se puede comprobar en la figura 10, es un mapa de calidad y directamente reproducible.

Los programas DIABLOCK y PRISMAS.—

Mucho más expresivas que el sistema de cartografía temática mediante coropletas, resultan las recientes aplicaciones de las técnicas de representación de sólidos geométricos a la definición de modelos de cartografía de variables espa-

ciales en tres dimensiones.

La principal característica de este tipo de procedimientos, la constituye el hecho de reservar un componente lineal en el plano de dibujo —espacio imagen— a cada una de las componentes ortogonales del espacio origen. De esta manera, la característica a representar tiene una expresión lineal, que es la que propicia una más exacta percepción de la magnitud del fenómeno. Además, por esta misma razón, la variación de la característica puede ser tratada de una manera continua, haciendo corresponder a cada valor real una representación exactamente proporcionada —nótese, en cambio, que en el procedimiento de cartografía temática mediante coropletas se verifica una clasificación previa de las unidades espaciales en grupos homogéneos, asignado luego a cada grupo una representación común.

Otra ventaja importante de este tipo de modelos de representación, la configura su espacial adecuación para expresar la evolución espacio-temporal de una determinada característica, ya que los diversos volúmenes resultantes de la plasmación de los distintos momentos temporales, tienen todos una lectura idéntica y directamente derivable de la forma que adoptan —sin tener que recurrir en cada caso a una leyenda que explicita la relación entre la imagen plástica y el fenómeno representado (3).

A pesar de todas las ventajas que acabamos de señalar, este tipo de representaciones plantea problemas de lectura e interpretación que estamos intentando solucionar con procedimientos complementarios.

En primer lugar, es notorio que este tipo de gráficos dificulta la localización exacta de los fenómenos sobre el plano horizontal de referencia —especialmente cuando el espacio geográfico que consideran no es claramente familiar a la persona que ha de interpretar el resultado gráfico—. Para resolver este tipo de dificultades ya se han desarrollado, y se continúa trabajando en ello, algunas subrutinas para la obtención de ilustraciones reproducidas sobre superponibles transparentes —rotulaciones, representación de contornos en perspectiva sobre el plano horizontal $z = 0$, señalización de los puntos muestrales y

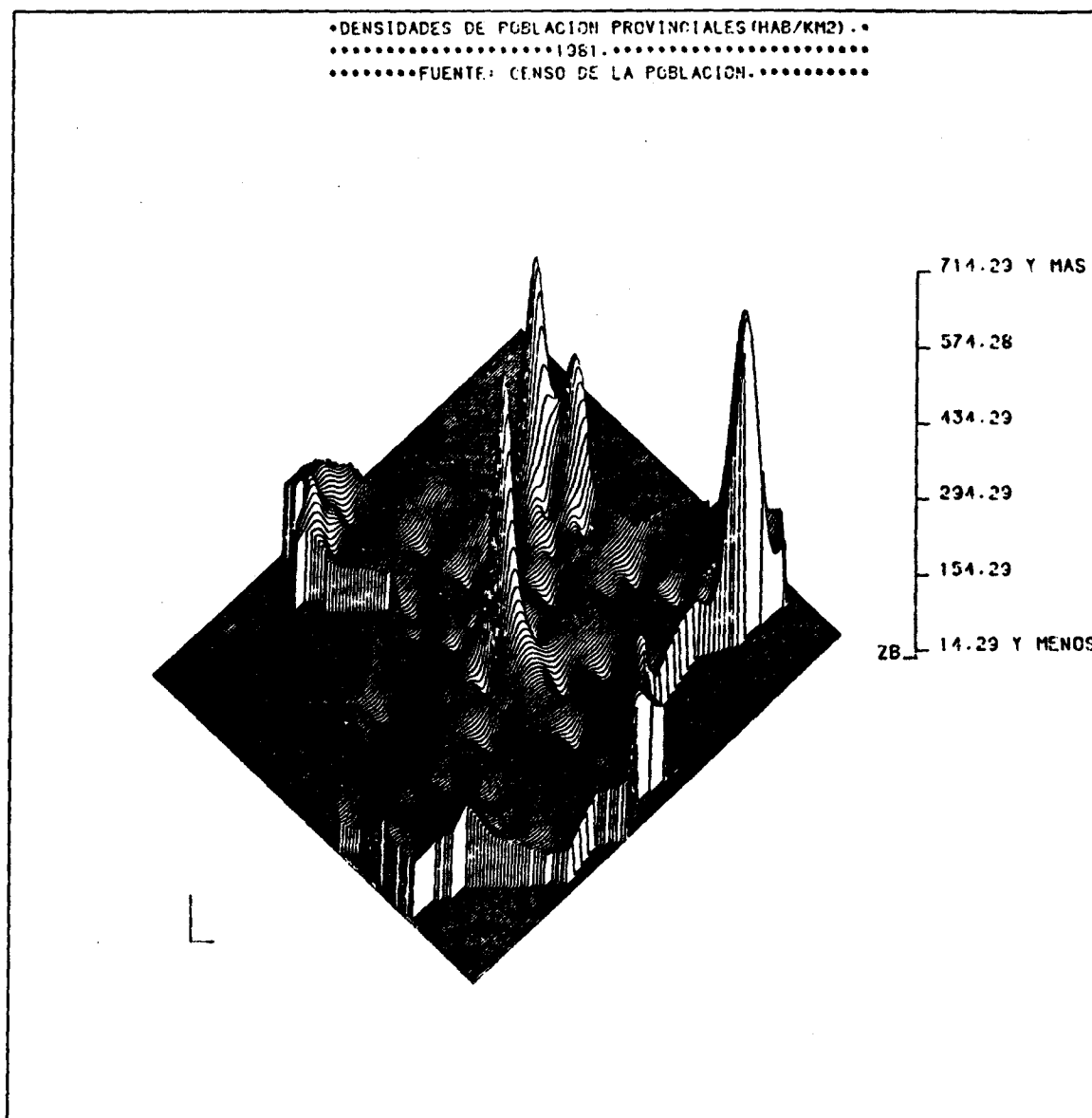


Figura 11

Bloque diagrama. Densidades de población de las provincias españolas (hab./Km²). Año 1981.
 Fuente: Censo de la Población.

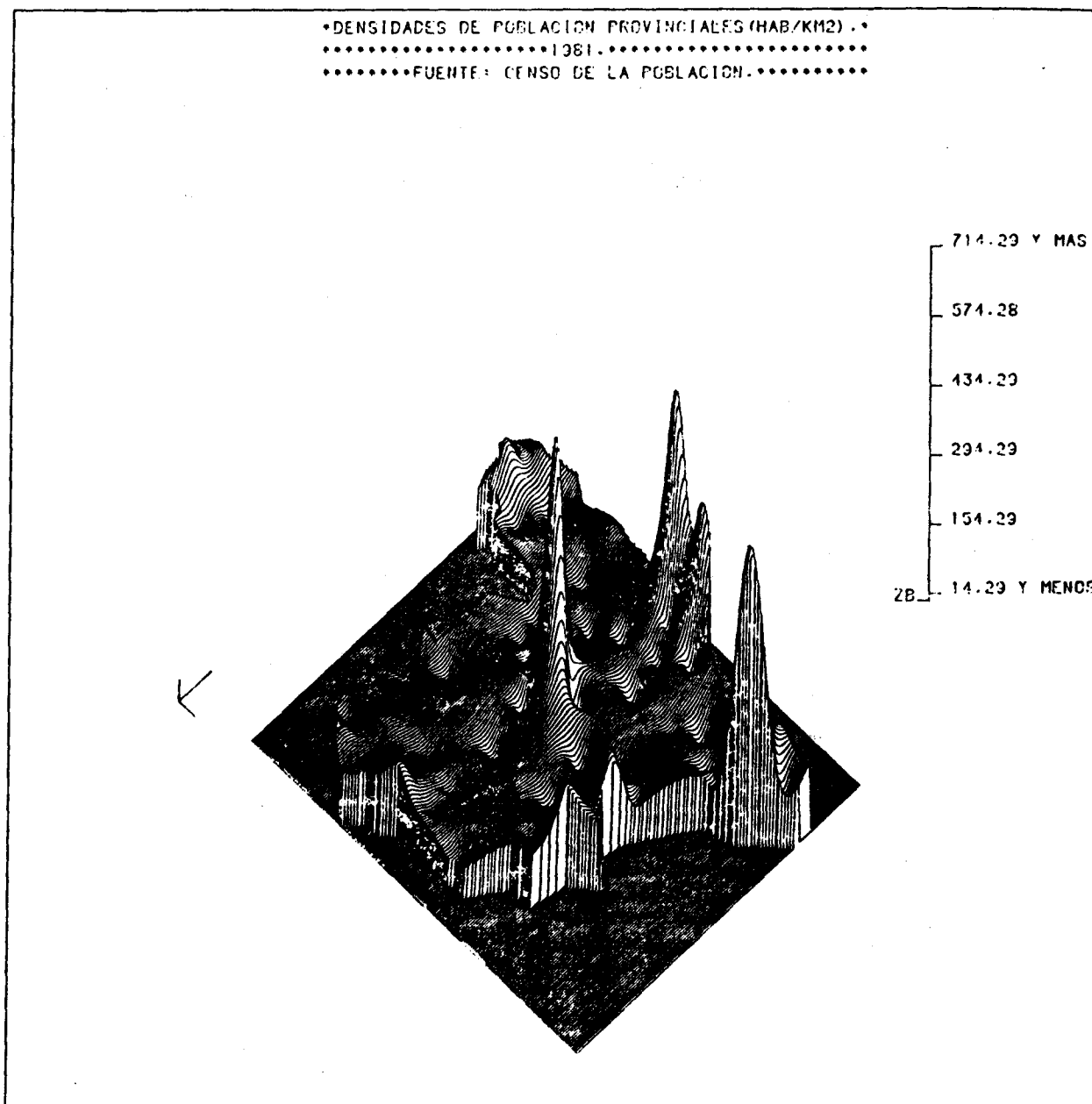


Figura 12

Bloque diagrama. Densidades de población de las provincias españolas (hab/Km²). Año 1981. Visión desde el sureste.

del valor de la característica en ellos, etc.—.

En segundo término, por los propios requisitos del sistema de representación de volúmenes en perspectiva, las porciones en resalte ocultan la configuración de las zonas deprimidas que las suceden. Este problema se resuelve recurriendo a vistas complementarias, ya que este sistema de representación admite la posibilidad de visualizar el volumen desde diversos puntos de vista.

En tercer lugar, existe el problema de la interpretación exacta, o aceptablemente aproximada, de la magnitud de los fenómenos que se expresan mediante este tipo de representación. Para solucionarlo, hemos confeccionado un procedimiento para reproducir automáticamente una escala lineal de lectura en la vertical del gráfico.

a) El programa DIABLOCK.—

Este procedimiento requiere la definición de los siguientes datos: valores de las coordenadas de los puntos que definen un contorno geográficamente significativo y valores de las coordenadas de puntos interiores a él, en los que se ha sondeado el peso de la característica a representar.

Para la construcción del volumen a representar, el programa DIABLOCK utiliza un procedimiento de interpolación por aproximación numérica.

El procedimiento de interpolación por aproximación numérica considera que el valor de la característica de un determinado punto del mapa está determinado por la distancia desde ese punto a los puntos muestrales más próximos y por el valor de la característica en ellos. Comparado con el método de interpolación por ajuste de superficies polinómicas, este procedimiento da lugar a superficies mucho más complejas, disminuye el riesgo de distorsiones provocadas por errores y hace coincidir con bastante aproximación el valor de la superficie interpolada en un punto muestral y el valor de la característica en ese punto. Como hemos podido comprobar, es un método muy apropiado para la descripción numérica de la mayoría de las distribuciones espaciales.

Más concretamente, la fórmula de interpolación por aproximación numérica elegida, ha sido la siguiente:

$$Z_i = \frac{\sum_{k=1}^m (Z_k / D_{ik})}{\sum_{k=1}^m (1 / D_{ik})}$$

Donde:

Z_i = valor interpolado de la característica en el punto i .

m = número de puntos que componen la muestra espacial.

Z_k = valor de la característica en el punto k de la muestra.

D_{ik} = distancia lineal entre el punto i y el punto k de la muestra.

Esta formulación comparada con la expresión básica de medias ponderadas por distancias:

$$Z_i = \frac{\sum_{k=1}^m (Z_k / D_{ik})}{\sum_{k=1}^m (1 / D_{ik})}$$

concede mayor influencia a los puntos de la muestra más próximos. No obstante, existen formulaciones de interpolación por aproximación numérica que realzan todavía más la influencia local en el cálculo de valores interpolados. Tal es el caso de la fórmula que utiliza TOBLER (1970):

$$Z_i = 1/2 [Z_n + (\sum_{k=1}^m (Z_k / D_{ik}^2) / \sum_{k=1}^m (1 / D_{ik}^2))]$$

en la que Z_n es el valor de la característica en el punto muestral más próximo.

Presentamos a continuación dos vistas complementarias del volumen que representa la variación espacial de la densidad de la población provincial en la España Peninsular en el año 1.981. (Fig. 11 y 12).

b) El programa PRISMAS.—

Este procedimiento tiene en común con el anterior toda la sección de dibujo del volumen tridimensional resultante, pero se diferencia claramente de él en el tipo de interpolación que efectúa, y en el conjunto de datos de base que requiere para su funcionamiento.

En este último sentido, el programa parte del conocimiento de una serie de contornos geográficamente significativos que cuartejan el espa-

cio a representar. La información que es necesario recuperar es, por tanto, similar a la que requiere el procedimiento de dibujo de mapas de coropletas —polígonos y pesos de la variable en el interior de cada polígono.—.

Una vez definida esta referencia espacial, para la construcción del relieve temático se asume que el peso de la variable es constante en el interior de cada contorno. Coherentemente con ello, el algoritmo de interpolación investiga a qué polígono es interior cada punto que se considera, y supone sobre él un peso equivalente al que afecta al polígono al que es interior.

$$Z_i = Z_k \Leftrightarrow P_i \in A_k$$

Donde:

Z_i = valor interpolado de la característica en el punto i .

Z_k = valor de la característica en el polígono k

P_i = punto i

A_k = polígono (área) k

El resultado gráfico es un conjunto de prismas levantados sobre los contornos, de altura proporcional al peso de la variable de éstos.

Dos vistas complementarias realizadas con este procedimiento, que representan el mismo fenómeno que los gráficos realizados con el procedimiento DIABLOCK —densidades provinciales de población en la España Peninsular en 1981—, se presentan a continuación, (Fig. 13 y 14).

De la comparación de estos gráficos se puede avanzar la conclusión de que este último procedimiento tiene claras ventajas, en cuanto a su expresividad, cuando se trata de representar variables especialmente contrastadas —como suelen ser los atributos de tipo socioeconómico— y estrechamente relacionadas con unos contornos geográficamente significativos y conocidos por la persona que va a leer el gráfico.

BIBLIOGRAFIA

— BAXTER, R.G., (1973): "GINO, a general purpose graphic system for cartographic", J.U.N.N.D., 10.

— BICKMORE, D.P., (1967): "The scope of automatic cartography", *Proceedings Geological Society of London*, 1642, pp. 205—9.

— BICKMORE, D.P. (1968): "Maps for the computer age", *Geographical Magazine* 41, pp. 221—227.

— BOVILLE, F., (1977): *Structuring Cartographic Data and Spatial Processes with the Hipergraph—Bases Data Structure*, Comunicación al M.I.T. Cambridge Mass. Advanced Study Symposium on Topographical Data Structures for Geographical Information Systems.

— BRODLIE, K.W., (1980): *Mathematical Methods in Computer Graphics and Design*, London, Academic Press, 147 pp.

— CAUVIN, C., REYMOND, H. y HIRSCH J., (1980): *Cartographie Informatisée et Géographique Humaine*, Strasbourg, C.N.R.S. Laboratoire de Cartographie Thématique.

— CEBRIAN DE MIGUEL, J.A. y GARCIA FERNANDEZ, M., (1982): "Sistemas de representación y Cartografía Temática. Evolución de las densidades de población de las provincias españolas en el período 1900—1981", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Madrid, (en prensa).

— CEBRIAN DE MIGUEL, J.A., (1982): "Nuevos planteamientos en la Organización de los Sistemas Cartográficos Nacionales. Euro—Carto I (Oxford, 13—16. XII. 81)", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Madrid, (en prensa).

— CEBRIAN DE MIGUEL, J.A., (1983): *Diseño mediante ordenador en resolución de problemas de representación gráfica y cartográfica en Geografía*. Tesis Doctoral, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense, 419 pp.

— COMITE FRANCAIS DE CARTOGRAPHIE, (1975): *Rapport national sur l'automatisation de la cartographie en France*, Paris, Les éditons internationales, Fascicule n° 63.

— DAVIS, J.C. y MCCULLAGH, M.,

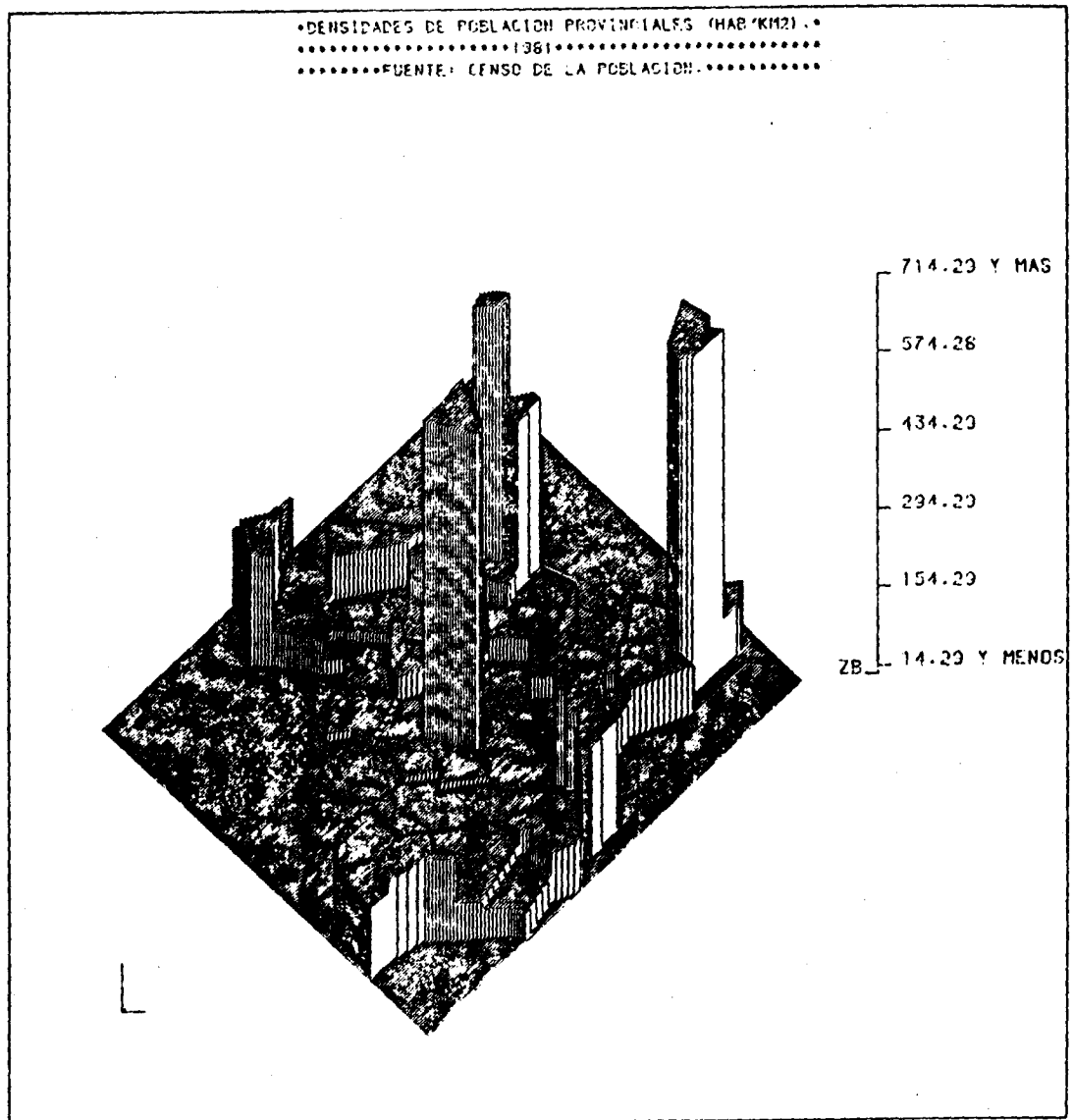


Figura 13.

Mapa de coropletas en tres dimensiones. Densidades de población de las provincias españolas, año 1981.

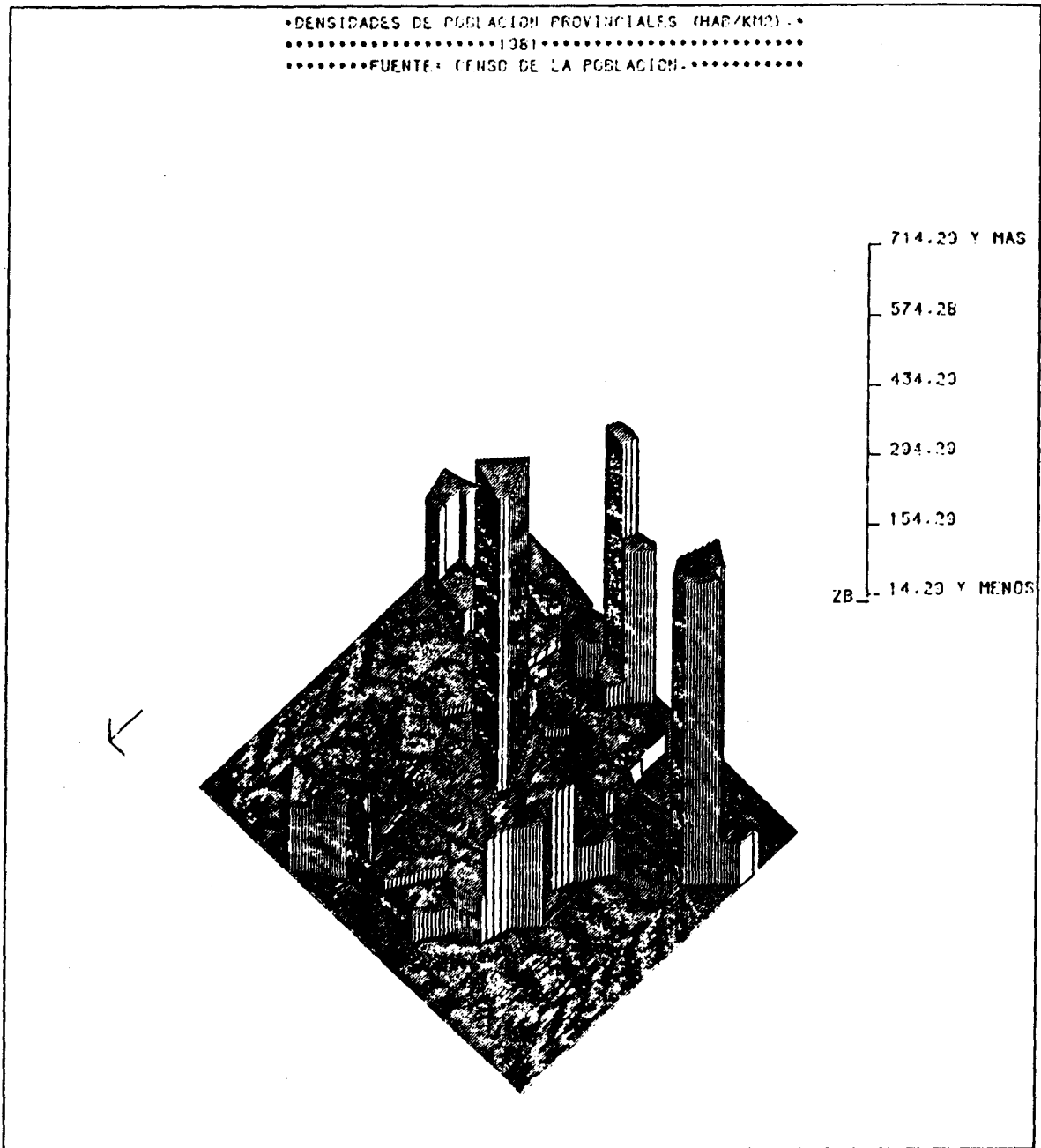


Figura 14

Mapa de coropletas en tres dimensiones. Densidades de población de las provincias españolas, año 1981. Visión desde el sureste.

(1975): *Display and Analysis of Spatial Data*, New York, Wiley and Sons.

– DOUGLAS, D., (1971): "VIEWBLOCK: A computer program for constructing perspective block diagrams", *Revue Géographique de Montreal*.

– GARCIA-COUREL, J.M., (1972): "Mapas estadísticos formados en ordenador", *Geographica*, C.S.I.C., nº 2, pp. 97–106.

– GARCIA-COUREL J.M., (1978): *Short notes and current applications and advantages of automated procedures in cartography*, Comunicación al Seminario de Cartografía Automática de Nairobi, Kenya.

– HERRERO GARCIA, R. y CEBRIAN DE MIGUEL, J.A., (1982): "An application of the drawing block diagrams and thematic maps in the manipulation of spatial data bases", en *Urban Data Management 9th European Symposium*, Valencia.

– KERN, R y RUSHTON, G., (1969): "MAPIT: A computer program for production of flow maps, dot maps and graduated symbol maps", *Cartographic Journal*, 6, pp. 131–137.

– MCDOUGALL, E.B., (1976): *Computer programming for Spatial Problems*, London, Arnold, 160 pp.

– MALLET, J.L., (1974): "Présentation d'un ensemble de méthodes et techniques de la cartographie numérique", *Annales de L' Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et Géochimiques*, nº 4, C.N.R.S., Nancy.

– MARTINEZ DE SOLA, I., (1981): *Aproximación a la cartografía automática mediante ordenador. Análisis de sus posibilidades de uso en el marco de una investigación geográfica*. Memoria de Licenciatura, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense.

– MONMONIER, M.S., (1969): "Computer mapping with the digital incremental plotter", *Professional Geographer*, 20, pp. 408–409.

– MONMONIER, M.S., (1982): *Compu-*

ter-Assisted Cartography. Principles and Prospects., United States of America, Prentice-Hall, 214 pp.

– NEWMAN, N.M. y SPROULL, R.F., (1973): *Principles of interactive computer-graphics*, New York, MacGraw-Hill.

– NUÑEZ DE LAS CUEVAS, R., (1970): "Estado actual de la automatización del proceso cartográfico", *Ciudad y Territorio*, nº 2.

– PEUCKER, T., (1972): *Computer Cartography*, Washington, Commission on College Geography, Association of American Geographers

– RHIND, D.W., (1976): "Towards universal, intelligent and usable automated cartographic systems", *ITC Journal*, 4, pp. 515–45.

– RIMBET, S., (1980): "Aperçu général sur la cartographie expérimentale", *Recherches Géographiques à Strasbourg*, 8, pp. 3–24.

– TAYLOR FRASER (ed.), (1981): *The computer in Contemporary Cartography*, Chichester, Wiley and Sons, 252 pp.

– TOBLER, W.R. (ed.), (1970): *Selected Computer programs*, Ann. Arbor: Department of Geography, Univ. of Michigan.

– VIDAL DOMINGUEZ, M.J. y ROJO PEREZ, F., (1983): *Introducción al programa de cartografía automática por impresora de líneas: SYMAP*, Madrid, Universidad Complutense, 159 pp.

– VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY, (1975): *Computer Applications in Underground Mining Systems*.

NOTAS

(1) Este trabajo ha sido realizado por Beatriz Cristina Jiménez Blasco.

(2) Este trabajo ha sido realizado por Miguel García Fernández y Juan Antonio Cebrián de Miguel.

(3) Aunque no lo presentemos en esta ocasión, se encuentra ya disponible un procedimiento -FILM-, desarrollado en los últimos cinco meses, de animación gráfica de series espacio-temporales.