

# *Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica*

*Ensayo preliminar en la provincia de Madrid*

C. L. DE PABLO y F. D. PINEDA

## 1. INTRODUCCIÓN

A medida que el uso y la explotación humana de los ecosistemas ha ido incrementándose, ha sido necesario conocer mejor las potencialidades del espacio y extender la acción sobre territorios aún sin explotar. Paralelamente a ello, se ha tomado conciencia de la interdependencia e interacción de los componentes del territorio, aplicándose este punto de vista al inventario de recursos y desarrollo de modelos de descripción integrada.

Las características ecológicas del medio pueden ser descritas mediante una amplia gama de parámetros físico-químicos, biológicos y de uso humano. La expresión espacial de las interacciones entre ellos permite reconocer unidades territoriales y poner de manifiesto las dimensiones reales de las posibilidades de estas interacciones, pudiendo informar sobre las limitaciones y potencialidades del territorio (González-Bernáldez, 1981; Cabrera, 1984).

Se han dado diferentes alternativas para conseguir la descripción integrada de los distintos componentes de un territorio. Entre las que han tenido mayor relevancia se puede citar la escuela australiana de estudios integrados (Christian & Steward, 1968) y la escuela soviética (Viktorov, 1966; Sobolev, 1978).

En estas aproximaciones, como en los trabajos desarrollados por McHarg (1971) y González Bernáldez *et al.* (1973), subyace la utilización directa o no de indicadores (elementos del territorio cuya presencia o abundancia informa sobre numerosos aspectos del paisaje). En las dos primeras alternativas apuntadas se puede decir que los indicadores se van escogiendo sobre la marcha, a medida que se avanza en el proceso de prospección. En las restantes, éstos son seleccionados «a priori» y constitu-

yen el contenido fundamental de diferentes cartografías temáticas que pueden superponerse para obtener mapas integrados (Ramos, 1979). El empleo de indicadores es un medio para expresar, de forma simplificada y resumida, la gran cantidad de información que es necesario manejar para elaborar una síntesis integrada de las características ecológicas del territorio. Además de éstos, los modelos de prospección integrada suelen utilizar un sistema jerárquico de unidades territoriales que representan diferentes escalas de observación.

La superposición de mapas temáticos produce un elevado número de unidades territoriales, cuya definición y descripción llega a ser redundante y costosa, resultando su agrupación en sectores de orden más amplio, difícil y problemática. Además, la superposición sistemática de elementos del territorio puede no resultar el método más adecuado para poner de manifiesto las relaciones entre ellos (distintos fenómenos que ocurren a diferentes escalas). En los modelos australiano y soviético, la jerarquía de sectores y subsectores espaciales queda establecida desde el principio del proceso de prospección. La escuela australiana parte del reconocimiento visual de distintos tipos de territorios, utilizando intensivamente la fotointerpretación. En el caso soviético, esta jerarquía espacial quiere estar más directamente relacionada con las características funcionales del territorio, para reflejar las propiedades dinámicas de éste. Sin embargo, estas dos aproximaciones se basan en la apreciación subjetiva de características relevantes del territorio que presumiblemente informan sobre el sistema de relaciones subyacente.

En el presente artículo se aborda la descripción integrada del territorio mediante la detección automática y multivariante de sus relaciones espaciales más relevantes. Se recurre a una visión global o de conjunto, sin respetar temas o aspectos físicos individualizados y sin hacer suposiciones «a priori» sobre los parámetros que van a desempeñar un papel importante en la diferenciación de sectores espaciales a diferentes escalas, detectándose tendencias de variación y grupos de variables espacialmente relacionados. Esta descripción contempla las siguientes premisas:

— Los componentes ecológicos del territorio pueden ser descritos a través de una amplia gama de parámetros físico-químicos, biológicos y de uso humano. Estos parámetros guardan relación entre sí. Su variabilidad puede ser reducida a unas pocas tendencias expresables por el carácter discriminante de algunos de aquellos parámetros.

— Estas tendencias pueden servir de base para una cartografía automática y multivariante de indicadores ecológico-geográficos. Estos tienen interés por ser portadores de información (González-Bernáldez *et al.*, 1968) y por tratarse de parámetros discriminantes de sectores del territorio internamente homogéneos. Esta propiedad se antepone aquí a otras derivadas de la facilidad de su percepción o visualización en el territorio, tal como han enfatizado otros autores.

— La cartografía debe basarse en un muestreo regular, que sirva de base para la delimitación automática de sectores y subsectores biogeográficos.

— La interdependencia espacial —coocurrencia, redundancia, correlación— entre las variables medidas, sirve de base para delimitar esos sectores. En estos puede ser explicada porcentualmente tanto la presencia de las variables discriminantes como de otras que ayuden a interpretar y describir las unidades cartografiadas.

— El territorio queda descrito a partir de tendencias de variación ecológico-geográficas y clasificado por el carácter discriminante de los indicadores estadísticos detectados. Esta descripción puede ser global —aspectos ecológicos— o puede ser expresada para aspectos parciales —geóticos (geomorfológicos y climáticos), bióticos (vegetación y usos), etc.— habiéndose detectado previamente las interdependencias entre sus componentes.

El presente trabajo forma parte de una línea de investigación desarrollada en los Departamentos de Ecología de las Universidades Complutense y Autónoma de Madrid. En esta línea se aborda la descripción integrada del territorio a diferentes escalas de detalle, tratándose de optimizar el análisis de la información y su expresión cartográfica. Se tiene en cuenta tanto la relación coste/eficacia de la descripción como el estudio de las interdependencias espaciales entre diferentes tipos de factores y sus condicionantes en el uso humano del territorio. Este último aspecto se ha desarrollado recientemente por Llorca y Ruiz (1984). Ejemplos de aproximaciones semejantes a la aquí considerada, que utilizan análisis multivariantes aplicados a la descripción integrada del territorio pueden encontrarse en Bunce, Morrel y Stel (1975), Frondorf, McCarthy y Rasmussen (1978), Bunce, Barr y Whittaker (1981), Rowe y Sheard (1981); Gallopin (1982), Gazia *et al.* (1982) entre otros.

## 2. ANÁLISIS DEL TERRITORIO

La idea básica de este enfoque radica en que a partir de un número *relativamente reducido de muestras puede hacerse una tipificación de la información que permita reconocer sectores territoriales homogéneos, generalizando los resultados a todo el territorio mediante sus variables indicadoras.* Este método pretende optimizar la relación entre el esfuerzo de recogida de información y los resultados de aplicación cartográfica.

Se puede disponer una red regular de puntos de muestreo y recoger en ellos un conjunto de variables relevantes en el contexto de la descripción perseguida —por ejemplo, variables relacionadas con aspectos ecológicos: climáticas, edáficas, geomorfológicas, vegetación, etc.; o con aspectos socioeconómicos: usos del suelo, propiedad de la tierra, número

de habitantes, etc.—. El siguiente paso consiste en efectuar una tipificación automática del conjunto de muestras, que permita detectar las interrelaciones espaciales entre las variables muestreadas (elementos del territorio) y reconocer grupos de observaciones con características semejantes. Estos vendrán descritos por las variables de más alta contribución a la agrupación de observaciones (variables indicadoras o discriminantes).

Los métodos de clasificación (Whittaker, 1979) presentan ventajas operativas como procedimiento de obtención de grupos netos de observaciones, con una jerarquía de grupos y subgrupos de diferentes niveles de detalle diferenciados por variables indicadoras (ver Fig. 1). Estos grupos de observaciones constituyen la base de la confección de una cartografía de sectores territoriales. La variación espacial de las variables discriminantes de grupos permite delimitar las fronteras entre ellos. En principio, se puede considerar que el sector en cuestión termina donde desaparece su variable discriminante. No obstante, al tratarse de sectores sintéticos, no es presumible su caracterización en función de una única variable. Tampoco es previsible que todas las variables discriminantes de un sector presenten exactamente la misma distribución espacial —es decir, que sus límites sean coincidentes—, siendo necesaria una extrapolación para todo el conjunto de variables discriminantes o bien para ejes de variación obtenidos por métodos automáticos de ordenación (Harman, 1967; Whittaker, 1978). Esta aproximación no ha sido contemplada en el presente trabajo.

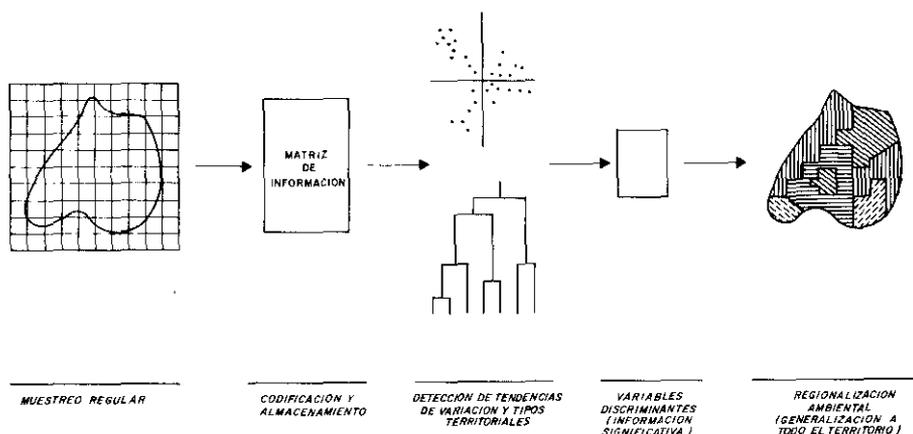


FIG. 1.—Esquema del procedimiento seguido para la descripción integrada del territorio mediante la detección automática y multivariante de sus relaciones espaciales más relevantes.

La secuencia permite una regionalización ambiental desde diferentes puntos de vista, según se utilicen todas las variables recogidas o sólo algunas de ellas. Ello equivale a efectuar distintas descripciones del territorio que pueden ser más o menos parciales (regionalizaciones geóticas, bioclimáticas, etc.). Las representaciones cartográficas de los agrupamientos resultantes de distintas combinaciones de variables, pueden entenderse como la expresión de diferentes tipos de paisajes que se apreciarían en el territorio al enfatizarse distintos puntos de vista.

Los resultados de las regionalizaciones y los objetivos alcanzables con esta metodología —niveles de detalle de las escalas cartográficas y fiabilidad de la extrapolación— vienen determinados por los recursos disponibles: información preexistente susceptible de ser muestreada regularmente y apoyo de campo e informático.

La ventaja principal de este procedimiento radica en las aproximaciones sucesivas que pueden hacerse sobre el territorio y las interrelaciones espaciales entre elementos que pueden obtenerse en cada caso. La posibilidad de decidir sobre la marcha la inclusión de nuevas variables, la exclusión de otras o la elección entre distintos procedimientos para detectar sectores espaciales a distintas escalas, resulta muy difícil con procedimientos no multivariantes. En este artículo se presentan los resultados de un análisis preliminar.

### 3. EJEMPLO DE APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE MADRID

Entre las posibilidades de tratamiento de datos que podrían ajustarse al esquema recogido en la Fig. 1, se ha elegido un procedimiento de trabajo que se muestra esquemáticamente a través de la Fig. 2. La recogida de la información se ha basado en el empleo de una rejilla de 5×5 km de malla que cubre el territorio de la provincia en su totalidad. Dentro de cada casilla se tomaron muestras colocadas al azar cuya posición, una vez fijada, se repitió para todas las casillas, obteniéndose una total de 675 muestras. Cada una de éstas consistió en una parcela de muestreo de 1×1 km en la que se anotó información relativa a los siguientes grupos de variables cartográficas: a) *Topográficas*: altitud, orientación y pendiente; estimados a partir del Mapa Militar de España, serie L, escala 1:50.000 (1970); b) *Litológicas*: tipos litológicos reconocidos con ayuda del Mapa Geotécnico de Ordenación Territorial y Urbana de la Subregión de Madrid, escala 1:100.000 (1976) y recorridos rápidos de campo. Se consideraron en total 39 tipos diferentes; c) *Climáticas*: oscilación térmica, precipitaciones máximas, medias e intensidad de las precipitaciones, temperaturas medias, máximas y mínimas anuales; recogidas con ayuda del Atlas Climatológico Básico de la Subregión Central (Casado *et al.*, 1981); d) *Vegetación y usos agrarios del suelo*: registrados con ayuda del Mapa de Vegetación y usos del suelo de la Comunidad Autónoma de Madrid (1983),

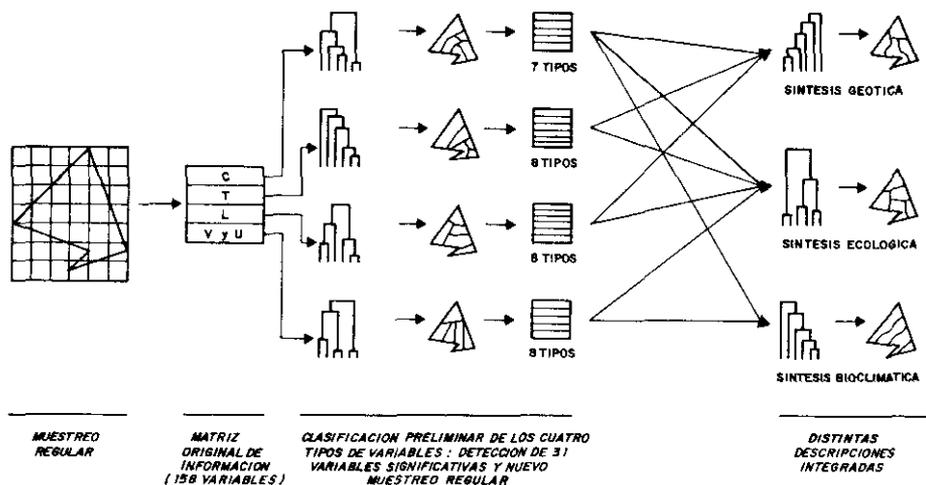


FIG. 2.—Esquema del procedimiento seguido para la realización de las distintas síntesis cartográficas de la Provincia de Madrid. Constituye una particularización del esquema que se muestra en la Fig. 1 (C: clima, L: litología, T: topografía, V y U: vegetación y usos del suelo).

escala 1:50.000 y recorridos rápidos de campo, lo que permitió diferenciar 30 tipos distintos de formaciones vegetales naturales y artificiales así como usos agrarios del suelo.

El conjunto global de la información contemplada constó de la presencia o ausencia de 158 variables en 675 observaciones.

### *Clasificación de los datos*

De los distintos procedimientos de clasificación implementados hasta la fecha en paquetes de software accesibles, se ha elegido aquí el análisis de información divisivo (Lance y Williams, 1968) implementado en el paquete CLUSTAN (Wishart, 1978). Se trata de un método divisivo monotético (Sneath y Sokal, 1973), en el que la pertenencia de una observación a un grupo se decide por la presencia o ausencia en ella de la variable de mayor valor discriminante.

En principio se pueden considerar más eficaces, desde el punto de vista de la detección de sectores territoriales, los métodos aglomerativos politéticos (Sneath y Sokal, 1973). Estos métodos consideran, para la asignación de una observación a un grupo, todo el conjunto de variables de ambos. Sin embargo, desde el punto de vista de la identificación de variables discriminantes ecológico-geográficas, estos métodos aglomerativos presentan el inconveniente de no poner claramente de manifiesto cuál

les son las variables discriminante de cada grupo (éstas se determinan posteriormente analizando las diferencias observadas entre los grupos ya formados; ver por ejemplo el método propuesto en Dixon, 1983; programa BMDP 2M).

Para el número de observaciones y variables aquí considerado, los métodos aglomerativos resultan muy costosos en tiempo de ordenador, haciendo desaconsejable en la práctica su ejecución. No obstante, el método de clasificación empleado, decide qué variables discriminan entre dos grupos en función del conjunto de las restantes; es decir, separa los dos grupos más diferentes en cada momento para el conjunto de todas sus variables.

### *Sectores y variables discriminantes ecológico-geográficos*

Se ha seguido la secuencia de trabajo recogida en la Fig. 2, que consta de las operaciones siguientes:

— Clasificación independiente de los distintos grupos de variables, con el fin de simplificar su multivariabilidad mediante unos pocos grupos de observaciones.

— Reconocimiento de tipos de sectores territoriales temáticos con respecto a estos grupos de variables.

— Asignación de las observaciones originales a estos sectores, de forma que las variables del nuevo juego de datos vienen determinadas por la pertenencia o no de cada observación al sector temático correspondiente.

— Clasificación de las observaciones respecto a estas nuevas variables.

Al efectuar como paso previo una clasificación independiente de los distintos tipos de variables se persigue eliminar el «ruido» de un conjunto amplio de variables, que es reducido a otro menos numeroso pero de variables significativas. Al mismo tiempo, se pretende homogeneizar las dimensiones de todas las variables de acuerdo con los resultados de los fenogramas de clasificación obtenidos. También se persigue optimizar la obtención de grupos netos cartografiables, pues la regionalización se efectúa a partir de un conjunto más reducido de variables con alto poder indicador que, no obstante, tienen menos posibilidades de interacción. Los resultados de la clasificación preliminar de las 675 observaciones (Fig. 2), de acuerdo con los cuatro tipos de variables contemplados, se muestran en el Apéndice 1, donde se enumeran los grupos de variables más discriminantes obtenidas.

## 4. RESULTADOS DE LAS SÍNTESIS FINALES Y DISCUSIÓN

En la Fig. 3 se presenta el fenograma de clasificación de las 675 observaciones empleando todos los grupos de variables considerados (geóticas y bióticas). Para un nivel de similitud elevado se detectan 15 grupos o sectores ecológicos cartografiados en el Mapa 1. La estructura geográfica encontrada se resume a continuación.

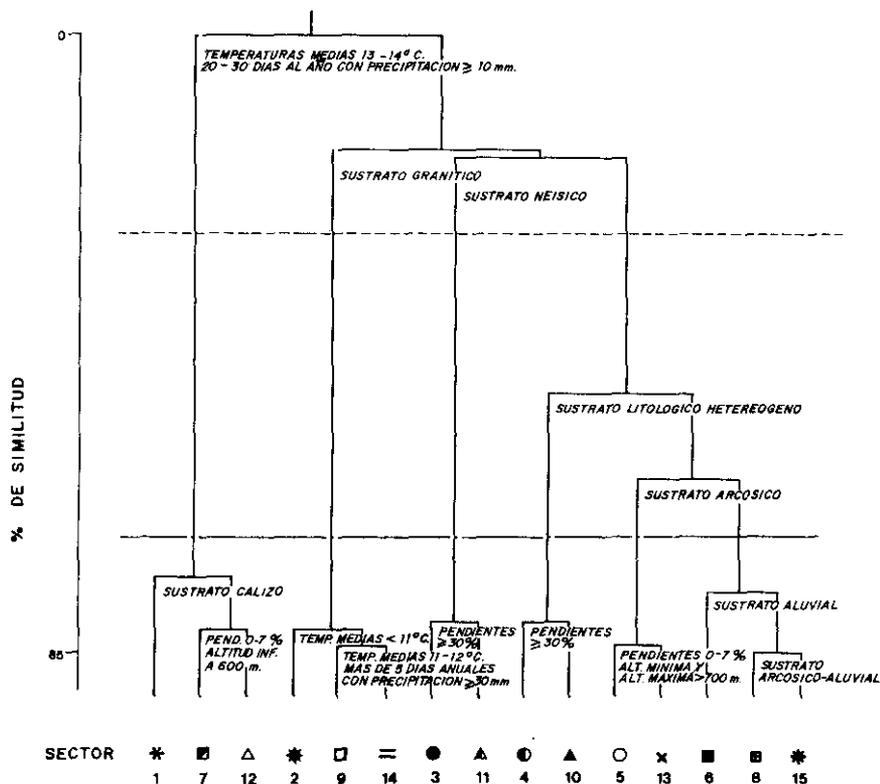
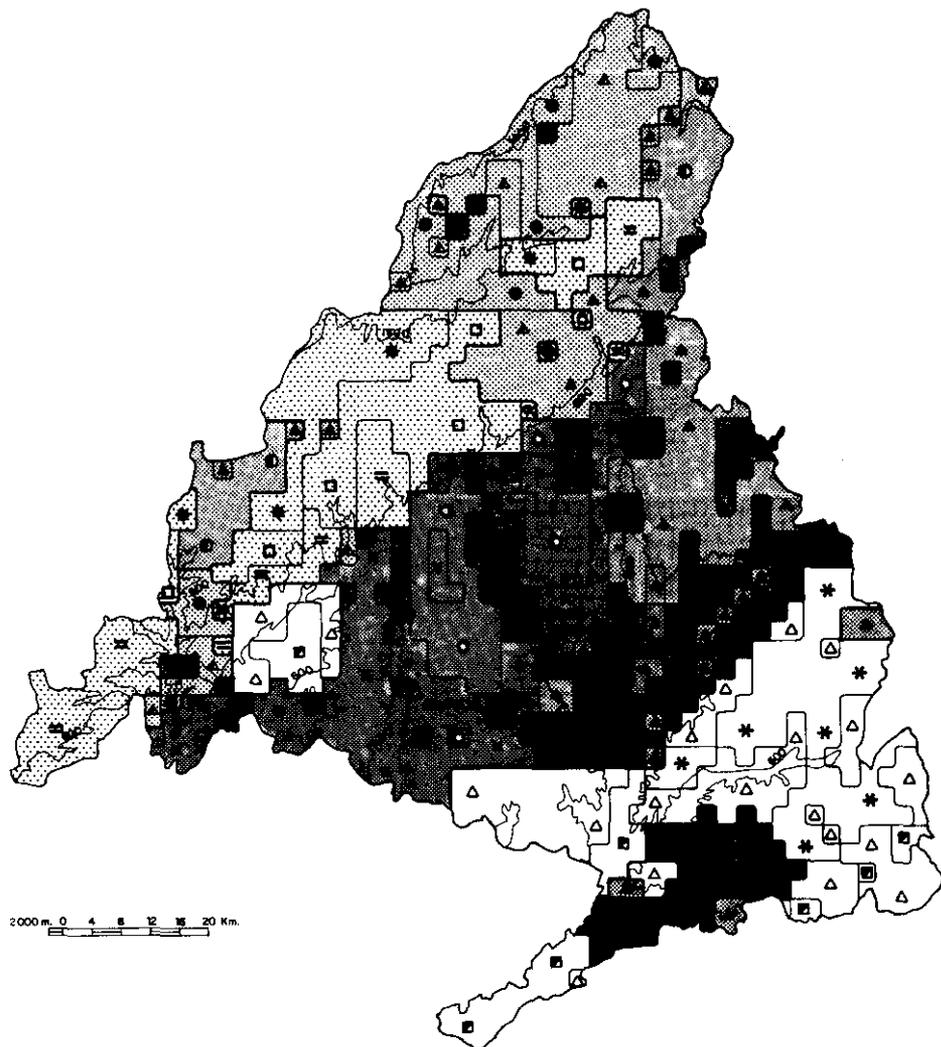


FIG. 3.—Fenograma de clasificación obtenido a partir del conjunto de datos geóticos y bióticos de la Provincia de Madrid.

Los grupos de unidades territoriales obtenidos se expresan con los mismos símbolos que en el Mapa 1.

De los cuatro grandes sectores reconocidos (Fig. 3, línea horizontal discontinua), la primera segregación se establece en virtud de variables climáticas. Así, las áreas cuyas temperaturas medias anuales están comprendidas entre 13 y 14 grados C° y en las que aparecen entre 20 y 30 días al año con una precipitación que sobrepasa los 10 mm, quedan separados del resto del territorio.



MAPA. 1.—Sectores territoriales que sintetizan la variabilidad ecológica de la Provincia de Madrid a partir del análisis realizado. Estos sectores son el resultado del proceso multivariante de datos geomorfológicos, climáticos y bióticos. Con trazo grueso se diferencian los cuatro grandes tipos territoriales recogidos en la Fig. 3 (línea horizontal discontinua).

Con diferentes tramas se distinguen subtipos o variantes (cuando los hay) para un nivel de similitud más alto (línea horizontal continua de la Fig. 3). Con diferentes símbolos se señalan los quince sectores ecológicos resultantes del fenograma de clasificación.

La extensión territorial de estas áreas abarca el 21% de las observaciones efectuadas. Como puede verse en el Mapa 1, las zonas caracteriza-

das por estas variables presentan dos localizaciones geográficas separadas. La mayor extensión aparece en el Sur y sureste de la Provincia y otra, de menor tamaño, hacia el suroeste. Dentro de estas zonas se distinguen, a su vez, tres subsectores cuyas variables discriminantes son de muy distinta naturaleza:

- Zonas de litología caliza (que abarcan un 5% del total de observaciones muestreadas y un 26% de las observaciones del grupo a que pertenece) muy homogéneas geográficamente. Aparecen formando una única mancha al suroeste del territorio estudiado.
- Zonas planas (pendientes inferiores al 7%) con altitudes mínimas inferiores a 600 m. Ocupan una extensión similar a las anteriores con una distribución geográfica dispersa en distintas manchas de tamaño relativamente pequeño.
- Zonas en que, excepto las variables climáticas ya mencionadas, el resto de las variables analizadas no presentan un carácter discriminante importante. Representan el subsector más extenso (51% de las muestras del grupo y 11% del total). Su distribución geográfica también es dispersa aunque tienden a formar manchas de mayor tamaño que las anteriores.

La segunda variable discriminante que permite diferenciar otro gran sector es la presencia de sustrato granítico. Estas zonas abarcan el 18% del total de observaciones y comprenden distintos territorios discriminados por variables climáticas:

- Zonas cuya temperatura media anual las sitúa dentro del rango de temperaturas más bajas de la Provincia (6 a 10° C). Representan el 26% de los territorios graníticos y un 5% de la Provincia, ocupando posiciones más noroccidentales.
- Bordeando a estas zonas por el sureste se sitúa el segundo subsector diferenciado. Su temperatura media es más templada (11 a 12° C) y sus precipitaciones intensas (con 10 días al año con precipitación igual o superior a 30 mm). Ocupan el 35% de los territorios graníticos y el 6% del total.
- El tercer subsector granítico discriminado también bordea por el sureste al anterior. En él ninguna de las variables consideradas alcanza valor discriminante en el nivel de significación considerado. Su extensión es del 39% de las áreas graníticas y del 7% de la Provincia.

La presencia de sustratos neísicos es la característica que discrimina al tercero de los cuatro grandes sectores recogidos en el fenograma de la Fig. 3. Estas zonas neísicas ocupan un 14% de las observaciones muestreadas. Las variables discriminantes que permiten reconocer subsectores dentro de ellas son de carácter topográfico y no climático, como ocurría en las regiones graníticas. Estos subsectores son los siguientes:

- Zonas con pendientes fuertes (en general mayores del 30%), que ocupan un 40% de los territorios neísicos y un 6% del total de muestras de la Provincia.
- Zonas de topografía heterogénea, en que ninguna de las variables alcanza valor discriminante para este nivel de similitud y que ocupan un 60% de las observaciones correspondientes a este grupo y un 8% de las del total de la Provincia.

Entre los dos subsectores que integran los territorios neísicos no se aprecia una relación espacial tan clara como en los territorios graníticos, probablemente debido a que, en este caso, las diferencias entre los subsectores son topográficas y no climáticas, lo que dificulta su expresión cartográfica mediante sectores de cierta extensión, sin discontinuidades y con homogeneidad interna.

El resto del territorio que comprende la Provincia, abarca áreas cuyas diferencias más claras son de carácter litológico:

- Territorios litológicamente muy heterogéneos, discriminados sólo por la ausencia de ellos de las litologías más frecuentes en la Provincia, especialmente arcosas, granitos, neíses, depósitos aluviales, calizas, margas y yesos. El número de observaciones correspondientes a este sector representa un 14% del total y su distribución geográfica es muy dispersa, concentrándose fundamentalmente en el Este de la Provincia en una banda que lo recorre en dirección Norte-Sur (ver Mapa 1) de forma discontinua y desapareciendo al sureste.

En estos territorios se establecen, a su vez, diferencias en función de la topografía, distinguiéndose especialmente zonas con fuertes pendientes (mayores del 30%) hacia el Oeste y noreste. El otro subsector, en el que excepto la heterogeneidad litológica, ninguna otra variable alcanza valor discriminante, ocupa un 78% de la extensión de su grupo y un 11% de la Provincia. Su distribución geográfica es dispersa y se localiza preferentemente en el Este de la Provincia, siendo su distribución más compacta o continua hacia el Norte y más dispersa hacia el Sur.

- Terrenos arcósicos, cuya distribución geográfica es notablemente homogénea: las únicas disyunciones dentro de estos territorios están producidas por depósitos aluviales. Aquí se diferencia un área integrada por zonas planas de altitudes mínimas que conforman un paisaje en el que las formas alomadas se presentan característicamente. La extensión de estas zonas es de un 37% de las observaciones de su grupo y un 15% del total de la Provincia.
- Terrenos aluviales. Su importancia territorial es relativamente grande (ocupa el 9% del total de observaciones efectuadas).
- Territorios discriminados por la presencia conjunta de materiales

arcósicos y aluviales. Ocupan un 5% de las muestras efectuadas en la Provincia.

Algunos de los sectores y subsectores encontrados no aparecen discriminados por ninguna variable concreta, sino por la ausencia en ellos de variables discriminantes de sectores próximos en el fenograma. El hecho de que ninguna variable adquiera carácter discriminante puede deberse tanto a que todas ellas pudieran cumplir esa función como a que ninguna puede reflejar suficientemente la variabilidad territorial recogida al nivel de similitud contemplado. La primera posibilidad (homogeneidad absoluta) indicaría que estos sectores permanecen sin subdividirse hasta completarse la clasificación a 675 clases. Esto no ocurre en ningún caso, tratándose por tanto de sectores muy heterogéneos.

Siguiendo el esquema de la Fig. 2, en la Fig. 4 se muestran los tipos territoriales obtenidos a partir de análisis de datos climáticos y de vegetación. El fenograma resultante presenta una estructura diferente del de la Fig. 3 en la delimitación de grupos y subgrupos. En este fenograma se tiene una variación continua que engloba sucesivamente cada grupo de observaciones dentro de otro de forma que apenas se puede hablar de sectores y subsectores territoriales. Sin embargo, el resultado más notable es la ausencia de variables bióticas como discriminantes. Los grupos reconocidos vienen discriminados por las variables recogidas en la Tabla 1, donde todas ellas son de carácter climático.

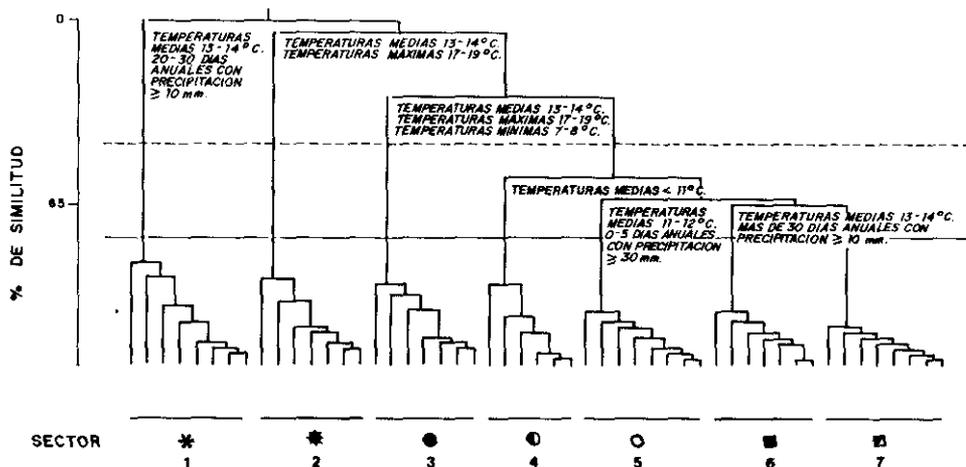


FIG. 4.—Fenograma de clasificación calculado a partir de datos de vegetación y clima de la Provincia de Madrid.

Los grupos bioclimáticos obtenidos se expresan con los mismos símbolos que los sectores delimitados en el Mapa 2.

TABLA 1

---

*Clases de valor de las variables con alto poder discriminante en la definición de grupos de observaciones bioclimáticas*

---

- Temperaturas medias comprendidas entre 13 y 14° C y 20-30 días con precipitación igual o superior a 10 mm.
- Temperaturas medias comprendidas entre 13 y 14° C y máximas comprendidas entre 17 y 19° C.
- Temperaturas medias comprendidas entre 13 y 14° C, máximas comprendidas entre 17 y 19° C y mínimas comprendidas entre 7 y 8° C.
- Temperaturas medias inferiores a 11° C.
- Temperaturas medias comprendidas entre 11 y 12° C y 0-5 días al año cuya precipitación es superior o igual a 30 mm.
- Temperaturas medias comprendidas entre 13 y 14° C y más de 30 días al año cuya precipitación es superior o igual a 10 mm.

---

La Fig. 5 recoge el resultado de un análisis en el que se practica el mismo tipo de tratamiento con variables solamente geóticas —topográficas, climáticas y litológicas—. De los tres grupos de variables utilizadas sólo las litológicas y climáticas adquieren valor discriminante (ver Tabla 2), si bien las primeras tienen gran interés, por su variabilidad, para la descripción de territorios con diferentes características litológicas y climáticas.

TABLA 2

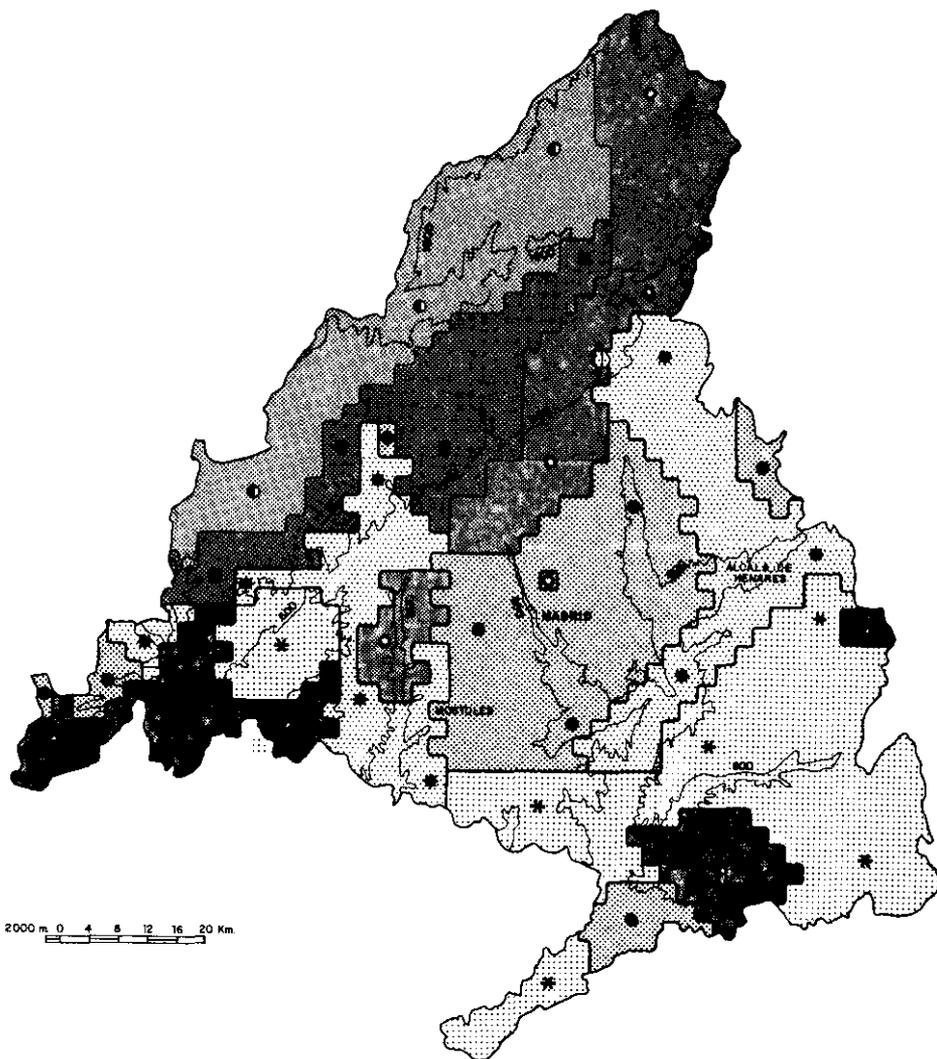
---

*Clases de valor de las variables con alto poder discriminante en la definición de grupos de observaciones de carácter geótico (topografía, litología y climatología)*

---

- Temperatura media anual comprendida entre 13 y 14° C, 20-30 días al año cuya precipitación es igual o superior a 10 mm.
- Litología caliza.
- Litología granítica.
- Litología neísica.
- Territorios de gran heterogeneidad interna. en los que aparecen los tipos litológicos menos frecuentes en la Provincia.
- Litología arcósica.

---



MAPA. 2.—Sectores que sintetizan la variación bioclimática de la Provincia de Madrid. Estos sectores corresponden a los grupos del fenograma de la Fig. 4 (la simbología empleada se corresponde a la descrita en la leyenda del Mapa 1).

#### *Papel de los factores bióticos en la sectorización geográfica*

Las regionalizaciones ecológica y bioclimática resultan en cierto modo incompletas, pues las variables bióticas no aparecen como discriminantes de ninguno de los sectores diferenciados en ambos casos. La comparación entre la regionalización ecológica (ver Mapa 1) y la geotica

(Mapa 3) para un mismo nivel de similitud de los fenogramas, permite evaluar la incidencia de las variables bióticas en la regionalización ecológica. Sólo estas variables podrían modificar la expresión cartográfica representada en este último mapa. Sin embargo, la concordancia espacial entre ambas regionalizaciones es prácticamente absoluta, resultando ambas casi indistinguibles, tanto en las variables discriminantes encontradas y su secuencia de aparición en el fenograma (ver Figs. 3 y 5) como en su proyección geográfica (ver Mapas 1 y 3).

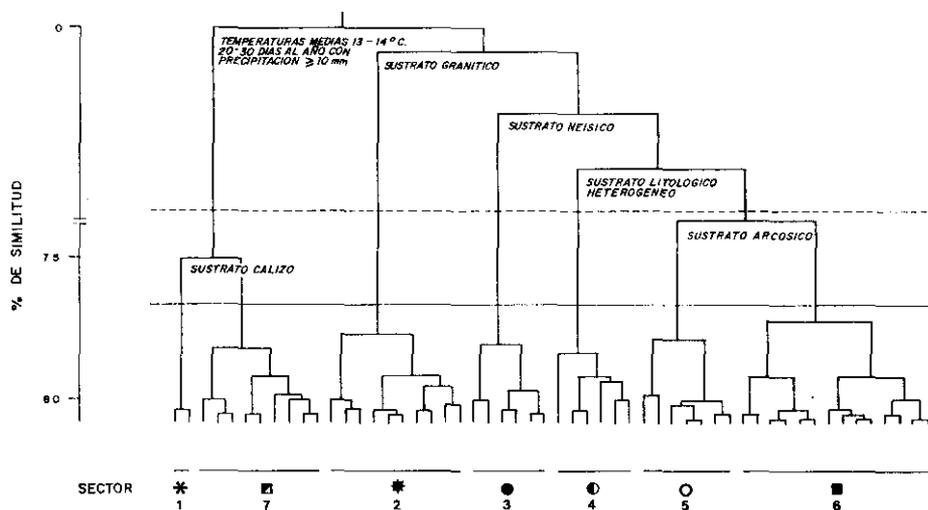
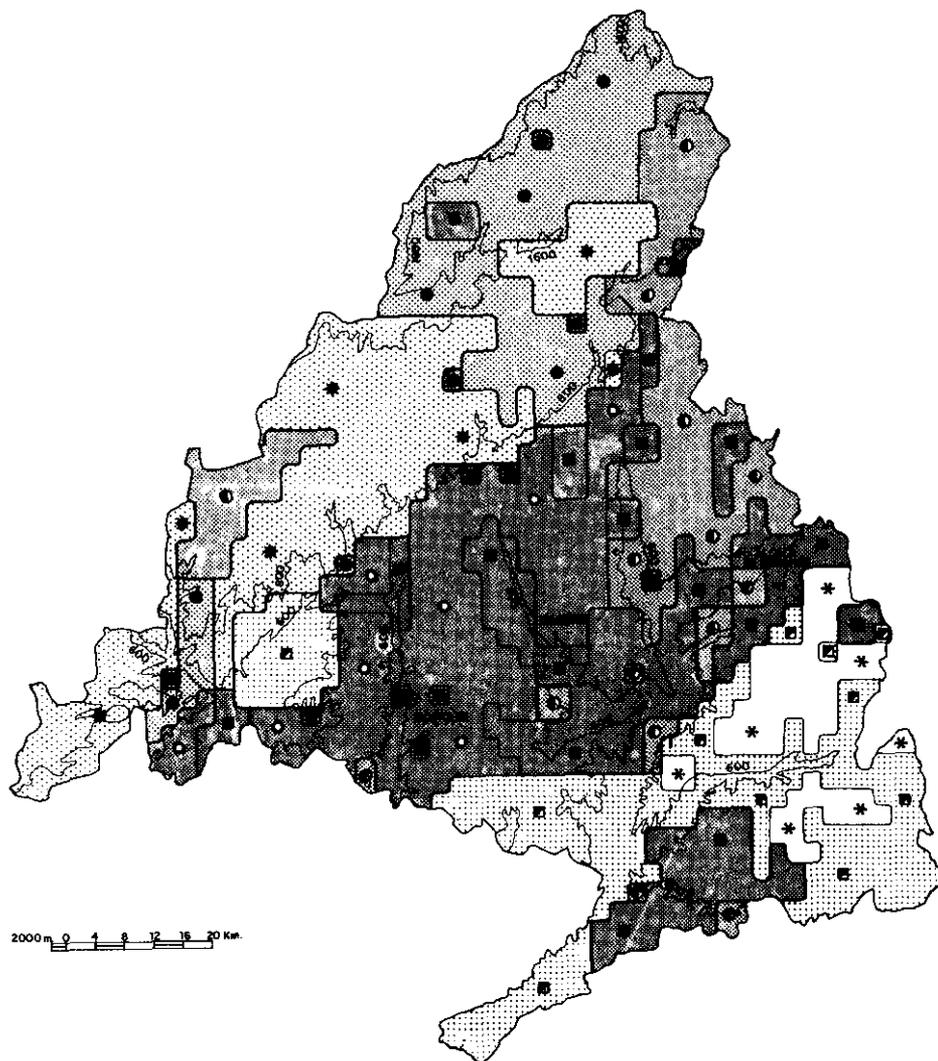


FIG. 5.—Fenograma de clasificación calculado a partir de información geomorfológica —topografía, litología— y climática de la Provincia de Madrid. Los tipos territoriales obtenidos se expresan con los símbolos recogidos en el Mapa 3.

El análisis con datos bióticos vuelve a resaltar las diferencias entre grandes tipos de sectores territoriales en función de sus características físico-químicas, siendo incapaz de poner de manifiesto su variabilidad interna en función de características bióticas. Este análisis viene pues a reflejar un marco de referencia de factores físico-químicos a la escala geográfica contemplada. Probablemente los componentes bióticos del territorio adquieren poder discriminante a otras escalas de observación más detalladas. A la aquí contemplada parece suficiente la información físico-química para obtener una sectorización del territorio con unidades internamente homogéneas. El ensayo realizado permite vislumbrar que, a escalas geográficas pequeñas, la vegetación y los usos del suelo pueden expresarse en términos geomorfológicos y climáticos, por venir probablemente muy condicionadas por éstos.



MAPA. 3.—Sectores que sintetizan la variación geomorfológica y climática de la Provincia de Madrid. Estos sectores corresponden a los grupos del fenograma de la Fig. 5 (la simbología empleada se corresponde a la descrita en la leyenda del Mapa 1).

Con objeto de determinar hasta qué punto los componentes bióticos del territorio reconocen la regionalización ecológica, se efectuó un análisis de correspondencias (Cordier, 1965; Benzecri, 1973) con los valores de frecuencia de las variables de vegetación y usos del suelo en los 15 sectores ecológicos detectados en el análisis global. Los resultados de este análisis se muestran en la Fig. 6.



Comparando estos resultados con los que se muestran en el fenograma de la Fig. 3, se puede evaluar el comportamiento de las variables bióticas frente a la regionalización ecológica. Si la correspondencia entre la sectorización efectuada y la distribución de la vegetación y usos del suelo en la Provincia fuera muy alta, la disposición de los tipos territoriales en el plano de la Fig. 6 se correspondería estrechamente con la recogida en el fenograma; es decir, los sectores tenderían a aparecer agrupados según el esquema de divisiones de aquél. Esto no ocurre. Como puede observarse en la Fig. 6, unidades correspondientes a muy diferentes grupos jerárquicos aparecen entremezclados con los de otros. Por ejemplo, en el extremo superior del primer eje del análisis, el sector 11 (neises) ocupa una posición más próxima a los sectores graníticos —2, 9, 14 (con los que presenta una similitud de apenas un 15%)— que al otro sector neísico (sector 3).

Según la secuencia metodológica seguida (Fig. 2), la tipificación preliminar del territorio de acuerdo con las cuatro clases de variables consideradas y el posterior uso de los tipos territoriales obtenidos para las regionalizaciones sintéticas, ha podido limitar mucho las posibilidades de interacción entre las variables consideradas. En las clasificaciones sintéticas ya no entran conjuntos de variables que se puedan asociar sin restricciones, sino grupos fijos de ellas que sólo pueden relacionarse con otros grupos fijos. Con ello, se optimiza el proceso de obtención de grupos netos cartografiables, pero se limitan los matices que, en los mapas sintéticos, podrían ser introducidos mediante la utilización de variables individualizadas. Este puede ser el papel que desempeña la vegetación y los usos agrarios del suelo: matizar el marco físico-químico que pone de manifiesto la clasificación ecológica denunciando una variabilidad particular dentro de cada sector geótico del territorio.

#### *Otra información subyacente*

En cuanto a las posibilidades de aplicación del tratamiento multivariante a la planificación y gestión del espacio, cualquiera de los mapas sintéticos obtenidos sirve de base para representar, dentro de los tipos territoriales diferenciados, numerosas relaciones entre variables. Estas pueden ser fácilmente estudiadas y expresadas en porcentajes territoriales, según los sectores detectados.

En el Apéndice 2 se muestran, a modo de ejemplo, los porcentajes territoriales ocupados por diferentes tipos de vegetación y usos del suelo en los distintos tipos de territorios cartografiados en el Mapa 1. Aquellas regiones en que los *usos forestales* adquieren una importancia territorial superior a la que tienen en la Provincia en su conjunto, que por tanto se podrían denominar *regiones forestales*, estarían constituidas por los sectores 3, 4, 2 y 11. En éstos, los bosques de pino silvestre adquieren valores del

63%, 38%, 28% y 11% de su superficie respectivamente. Estos sectores también se caracterizan por una importante presencia de *actividades ganaderas*, con un alto porcentaje de su superficie ocupada por pastizales y dehesas de encina, roble y fresno en diferentes proporciones, en general bastante más altas que para el conjunto provincial.

Frente a estas zonas se pueden distinguir aquéllas otras que se caracterizan por su preponderancia de *usos agrícolas*. Como *regiones cerealistas* destacan los sectores 1 (97%), 15 (82%), 12 (88%), 10 (78%) y 6 (73%) frente a un 51% de superficie provincial dedicada a cultivo de cereales. Resulta interesante mencionar que en las zonas arcóscicas de la Provincia (sectores 5, 13 y 18) no son especialmente abundantes los cultivos cerealistas, que alcanzan valores en torno al porcentaje provincial, localizándose las mayores superficies cerealistas al Este y sureste de la Provincia (ver Mapa 1). Otros cultivos de secano, como olivares y viñedos, presentan una *distribución, en cuanto a su predominancia se refiere, similar a la de los cultivos de cereal*. Resulta también sorprendente esta abundancia de viñedos y olivares en territorios como los comprendidos por el sector 6 (discriminado por su sustrato aluvial) más adecuados para otros tipos de cultivos.

Los *cultivos intensivos*, que representan un 26% de la superficie muestreada, se localizan preferentemente en los sectores 6 (con un 67% de su superficie), 7 (58%), 12 (44%) y 10 (35%), junto con otros cultivos extensivos.

Los *núcleos de población* aparecen en una amplia gama de tipos territoriales: territorios arcóscicos en los que abundan retamares, cultivos de cereal y algunos olivares y viñedos, junto con pastos y encinares; territorios con una fuerte incidencia forestal y ganadera, como el sector 2 —en los que la abundante presencia de núcleos de población guarda relación con actividades de esparcimiento y segunda residencia—; esto no ocurre en los sectores 3 y 4, con características similares al 2 en cuanto a posición geográfica y usos del suelo predominantes, discriminados por diferentes variables. Son especialmente abundantes los núcleos de población en territorios en que, como en el sector 6 —sustratos aluviales—, son muy abundantes tanto cultivos intensivos —cereal, vid y olivo— como intensivos.

Este mismo procedimiento descriptivo puede seguirse para otras variables o para otras combinaciones de ellas, de manera que es posible caracterizar el territorio con diferentes objetivos: tipos de vegetación natural, repoblaciones, tipos de cultivos, características climáticas, etc. Estas diferentes caracterizaciones pueden servir para evaluar distintas posibilidades o restricciones del territorio frente a determinados usos o actuaciones con una relación fiabilidad/esfuerzo muy favorable (ver también Barturen, 1984). Un diagnóstico más fino se podría obtener descomponiendo estos grandes sectores en subsectores cada vez más pequeños, o utilizándolos como base para prospecciones más detalladas.

## 5. CONCLUSIONES

1. La utilización de análisis multivariantes de datos biogeográficos muestreados regularmente, resulta útil para la delimitación de tipos territoriales homogéneos cartografiables a distintas escalas. La relación esfuerzo/resultados es muy favorable. El mismo procedimiento de recogida y tratamiento de la información podría efectuarse con datos exclusivos de campo en territorios de pequeña extensión (ver Frondorf, McCarthy y Rasmussen, 1978).

2. La ventaja principal de las síntesis obtenidas con el procedimiento ensayado radica en que pueden ser analizadas estadísticamente una gran cantidad de variables. Estas pueden ser de diferente naturaleza (topológicas, climáticas, etc.), entre las cuales existen relaciones espaciales que no podrían tenerse en cuenta sistemáticamente de otra manera.

Los mapas obtenidos presentan las siguientes ventajas:

— Los sectores geográficos que contienen están caracterizados por variables indicadoras obtenidas automáticamente para una función discriminante.

— Los sectores en que se divide el espacio estudiado pueden desagregarse jerárquicamente y definirse subsectores progresivamente más pequeños y homogéneos, según los niveles de similitud geográfica obtenidos en fenogramas.

— Se reduce la dimensionalidad en la descripción temática del territorio y se obtienen variables o estados de variables portadoras de información.

— El análisis de las diferentes variables temáticas (geológicas, biológicas, climáticas, etc.), se hace de forma integrada, pudiéndose conocer su interdependencia espacial de los sectores territoriales obtenidos, a juzgar por el grado de esta interdependencia.

— Si la interdependencia estadística entre distintos tipos de variables temáticas fuera poco precisa, la correspondencia entre éstas puede estudiarse mediante análisis canónico discriminante (Jerrich y Sampson, 1983), lo que permite disponer de funciones polinómicas predictoras.

3. La capacidad indicadora de la vegetación, reconocida en numerosos estudios, pierde importancia a una escala geográfica como la aquí abarcada, por quedar oscurecida por la variabilidad de otros parámetros. La síntesis cartográfica obtenida, expresa una estructura espacial en la que la variabilidad biológica y de usos del suelo queda anulada por el fuerte carácter discriminante de las variables de tipo climático y litológico. En la Provincia de Madrid se da una muy clara variación climática espacial. A su vez ésta oscurece a la variación geomorfológica, pues está fuertemente correlacionada con ella. En realidad, la litología corresponde aquí a su vez, a variaciones mesoclimáticas pues existe una gran correspondencia entre los cambios altitudinales (climáticos y topográficos) y los

tipos litológicos: granitos y neises en las cumbres y rampas, arcosas en las llanuras y márgenes de los páramos del Sur y sureste, etc.

4. Bunce *et al.* (1981), realizan en Gran Bretaña una clasificación similar a la practicada en este estudio. Obtienen 32 «land class» a partir de la observación de la variable indicadora o discriminante en dendrogramas automáticos. El conocimiento de estas variables permite que cada kilómetro cuadrado del territorio sea clasificado de acuerdo con el valor que toma en él esa variable discriminante.

Elaboraciones de este tipo pueden hacerse con facilidad a partir de nuestros mapas. La principal ventaja de esta generalización de resultados radica en que con el valor de cada variable discriminante están asociados conjuntos de variables de distintos tipos. De esta forma, cualquier porción del territorio puede ser fácilmente descrita en términos de porcentaje de su superficie ocupada, por ejemplo, por distintos usos del suelo.

5. Los mapas elaborados en este estudio preliminar se basan en una información obtenida automáticamente con ayuda de ordenadores. No obstante, su dibujo no se hace con ordenador. Con la misma información y programas de cálculo adecuados —del tipo de los usados por Casado *et al.* (1981)— pueden obtenerse mapas totalmente automáticos. La principal ventaja de la automatización total del proceso radica en la posibilidad de efectuar rápidamente distintas aproximaciones a la descripción del territorio, optimizando las posibilidades del empleo de análisis multivariantes en su descripción integrada.

Noviembre, 1984

#### BIBLIOGRAFIA

- BARTUREN, R. *et al.* (1984): *Estudio ecológico del Valle y Estuario de la Rta de Múndaca-Guernica (Vizcaya)*. Vol. 1. Sociedad de Ciencias Aranzadi. San Sebastián. Gobierno Autónomo Vasco. Vitoria. 196 pp. 12 mapas.
- BENZECRI, J. P. (1973): *L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances*. Dunod. París. (1.ª ed. 1970).
- BUNCE, R. G. H.; MORREL, S. K. & STEL, H. E. (1975): «The application of multivariate analysis to regional survey». *J. Env. Man.*, 3: 151-165.
- BUNCE, R. H. G.; BARR, C. J. & WHITTAKER, A. (1981): *An integrated system of land classification*. I.T.E., Merlewood Research Station. Cumbria U.K. 20 pp.
- CABRERA, P. G. (1984): *Cartografía ecológica del valle de Güimar. Una experiencia metodológica*. Tesis de Licenciatura. Univ. de La Laguna. 305 pp.
- CASADO, L. G.; DE NICOLÁS, J. P. y MOSQUERA, M. T. (1980): *Atlas climatológico Básico de la Subregión de Madrid*. COPLACO, M.º de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- CHRISTIAN, C. J. & STEWARD, G. A. (1968): *Methodology of Integrated Surveys*. En: *Aerial Surveys and Integrated Studies*. UNESCO. París.

- COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (1983): *Mapa de vegetación y usos del suelo de la Provincia de Madrid*. C.A.M. Consejería de Agricultura y Ganadería. No publicado.
- CORDIER, B. (1965): *L'analyse factorielle des correspondances*. Thèse, 3.º cycle. Rennes.
- DIXON, J. W. (Ed.) (1983): *BMDP Statistical software*. University of California Press, Berkeley. 734 pp.
- FRONDORF, A. F.; MCCARTHY, M. M. & RASMUSSEN, W. O. (1978): «Data-Intensive spatial sampling and multiple hierarchical clustering: Methodological approaches toward cost/time efficiency in Natural resource assesment». *Landscape planning*, 5: 1-25.
- HARMAN, H. H. (1967): *Modern Factor Analysis*. 2.ª ed. Univ. Chicago Press.
- GAZIA, N. et al. (1982): «Una metodología multivariante para la regionalización ambiental. II. Aplicación a la alta cuenca del río Bermejo». *Ecología Argentina*, 7:127-144.
- GALLOPIN, G. (1982): «Una metodología multivariante para la regionalización ambiental. I. Bases metodológicas». *Ecología Argentina*, 7: 161-176.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F.; MONSERRAT, P. y GIL, A. (1968): «Elaboración automática de datos fitosociológicos». *Bol. Real Sociedad Española de Historia Natural (Biol.)*, 66: 159-176.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. et al. (1973): *Estudio temático ecológico de la Subregión de Madrid*. Informe para COPLACO. M.º de la Vivienda. Madrid. 3 volúmenes. 350 pp. 6 mapas.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1981): *Ecología y Paisaje*. H. Blume Ediciones. Madrid. 250 pp.
- JENRICH, R. & SAMPSON, P. (1983): *Stepwise Discriminat Analysis*, BMDP Statistical Software, University of California Press. 734 pp.
- LANCE, G. N. & WILLIAMS, W. T. (1968): «Note of new information-statistic classificatory program». *Comput. J.*, 11: 195.
- LLORCA, A. y RUIZ, M. (1984): «Factores físicos que rigen la estructura de usos de un territorio: el caso de Madrid». *Ciudad y Territorio*, aceptado para su publicación.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA (1976): *Mapa Geotécnico de Ordenación Territorial y Urbana de la Subregión de Madrid*. Escala 1:100.000. Ins. Geológico y Minero. Madrid.
- MCHARG, I. L. (1971) *Design with nature*. Doubleday/Natural History Press. N. York. 198 pp.
- RAMOS, A. (Ed.) (1979): *Planificación física y Ecología*. E.M.E.S.A. Madrid, 216 pp.
- ROWE, J. S. & SHEARD, J. W. (1981): Ecological Land Classification: A survey Approach. *Environ. Manage.* 5 (5): 451-464.
- SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1970): *Mapa Militar de España*. Serie L-E. Escala 1:50.000. Madrid.
- SOBOLEV, L. N. (1978): *Methods of Ecological-Typological Investigation of Lands*. Ilim. Frunze.
- SNEATH, P. H. A. & SOKAL, R. R. (1973): *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 573 pp.
- VIKTOROV, S. V. (1966): *Ispol'sovarie indikatsisanykh gheograficheskikh issledovanií v ingenernoi gheologhii*. Media. Moskva.
- WHITTAKER, R. HY. (Ed.) (1978): *Classification of Plant Communities*. Junk. La Haya. 408 pp.

- WHITTAKER, R. H. (Ed.) (1979): *Ordination of Plant Communities*. Junk. La Haya. 507. pp.
- WISHART, D. (1978): *CLUSTAN User Manual*. Program Library Unit. of Edimburgh. 3.<sup>rd</sup> edition. 176 pp.

### AGRADECIMIENTOS

Este artículo resume la primera parte de un trabajo realizado sobre cartografía ecológica a diferentes escalas. Los autores expresan su agradecimiento a la Comunidad Autónoma de Madrid por la subvención económica aportada para su realización y en particular a Santiago González-Alonso y Antonio López-Lillo por las facilidades y ayuda ofrecidas para llevarlo a cabo.

*Variables climáticas:*

- Temperaturas medias 13-14° C.  
Temperaturas máximas 17-19° C.
- Temperaturas medias 11-12° C.  
0-5 días al año con  
precipitación  $\geq$  30 mm.
- Temperaturas medias 13-14° C.  
20-30 días al año con  
precipitación  $\geq$  10 mm.
- Temperaturas medias < 11° C.
- Temperaturas medias 13-14° C.  
Temperaturas máximas 17-19° C.
- Temperaturas medias 13-14° C.
- Temperaturas medias 11-12° C.  
0-5 días al año con precipitación  
30 mm.

*Variables topográficas*

- Pendiente 0-7%.
- Altitud mínima y  
máxima < 600 m.s.n.m.
- Pendiente <30%.
- Pendiente 0-7%.
- Altitud mínima y máxima  
600-700 m.s.n.m.
- Pendiente 0-7%.
- Pendiente 8-29%.
- Altitud mínima 1.000-1.200  
m.s.n.m.
- Pendiente 0-7%.
- Altitud mínima 600-700 m.s.n.m.
- Pendiente 0-7%.
- Altitud mínima < 600 m.s.n.m.  
Altitud máxima < 600 m.s.n.m.
- Pendiente 9-29%.

*Variables litológicas*

- Arcosas y depósitos aluviales.
- Granitos.
- Neises.
- Depósitos aluviales.
- Calizas.
- Margas y yesos.
- Arcosas.
- Litología heterogénea.

*Variables de vegetación  
y usos del suelo:*

- Cultivos extensivos de cereal.  
Núcleos de población.  
Pastos y eriales.
- Conjunto heterogéneo de usos entre  
los que destaca la ausencia de pastos  
y eriales.
- Pastos y eriales.  
Praderas húmedas.
- Cultivos extensivos de cereal.  
Matorral calcícola y coscojares.
- Conjunto heterogéneo de usos entre  
los que destaca la ausencia de matorral  
calcícola y coscojares.
- Encinares.
- Conjunto heterogéneo de usos entre  
los que destaca la ausencia de encinares.
- Pastos y eriales.

APÉNDICE 1.—*Resultados de la clasificación preliminar de las observaciones según los cuatro grupos de variables muestreadas —climáticas, litológicas, topográficas y de vegetación y usos del suelo—.*

APÉNDICE 2  
SECTORES ECOLÓGICOS CARTOGRAFIADOS EN EL MAPA 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Pro- vincia
Praderas húmedas .....	0	65	71	33	0	20	21	12	39	9	53	4	3	23	7	22
Pastos y eriales .....	16	56	42	66	51	12	21	46	76	36	80	16	45	74	17	42
Cultivos intensivos .....	2	28	5	9	13	66	57	25	6	35	19	43	17	4	10	26
Cultivos de cereal .....	97	0	0	0	54	73	69	53	2	78	5	87	69	31	89	51
Viñedos .....	43	0	0	0	40	41	21	34	2	57	5	30	41	31	32	28
Olivares .....	89	0	0	0	43	58	30	37	2	77	5	69	50	34	57	40
Plantaciones de almen- dro .....	5	0	0	0	0	12	12	3	0	6	0	15	8	6	7	6
Alamedas, Fresnedas y Saucedas .....	0	0	0	4	0	3	0	0	4	1	14	1	0	4	0	2
Olmedas y Saucedas .....	0	0	0	0	2	20	15	37	2	6	3	0	11	2	3	7
Replantaciones de <i>Pinus</i> <i>halepensis</i> .....	0	0	0	0	0	4	0	0	0	6	0	6	1	0	3	2
Replantaciones de <i>Pinus</i> <i>pinaster</i> .....	0	28	0	28	0	0	0	0	11	2	5	0	0	14	0	4
Replantaciones de <i>Pinus</i> <i>pinaster</i> .....	0	0	15	4	2	0	0	3	6	4	3	1	3	27	0	4
Replantaciones de <i>Pinus</i> <i>nigra</i> .....	0	6	0	9	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1
Bosques de <i>Pinus sylves-</i> <i>tris</i> .....	0	28	63	38	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0	7
Enebrales .....	0	12	2	14	0	0	0	0	25	1	10	1	1	10	3	5
Encinares .....	21	3	10	4	40	3	10	40	62	8	12	23	24	57	17	25
Quejigares .....	51	0	0	0	0	6	0	0	2	4	0	16	0	25	28	8
Alcornocales .....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	1

APÉNDICE 2  
SECTORES ECOLÓGICOS CARTOGRAFIADOS EN EL MAPA 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Pro- vincia
Rebollares y frondosas..	0	21	36	14	0	3	0	0	9	5	44	0	0	10	3	9
Sabinas.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Matorral calcícola y coscojares .....	94	0	0	4	0	30	36	0	2	19	5	65	1	4	71	23
Matorral gipsícola .....	35	0	0	4	8	61	45	9	2	42	0	73	9	0	50	26
Retamares .....	2	0	0	0	62	33	15	46	4	56	5	15	56	2	21	24
Jarales y matorral aci- dófilo.....	0	78	42	66	18	4	18	25	93	17	80	10	19	85	3	35
Piornal y matorral de altura .....	0	25	60	23	0	0	0	3	2	0	10	0	0	0	0	6
Núcleos de población....	8	34	7	4	48	33	15	18	32	30	17	6	38	34	21	24
Dehesas de encina .....	78	59	23	19	35	25	51	46	81	24	78	32	35	65	54	46
Dehesas de roble.....	0	62	26	33	2	6	0	6	53	6	67	1	1	61	3	21
Dehesas de fresno.....	0	43	7	14	0	4	0	3	23	5	30	0	0	4	3	8
Tomillares y espartales.	40	0	0	4	0	30	36	0	2	15	0	53	1	0	46	16

APÉNDICE 2.—Porcentajes territoriales ocupados por los distintos tipos de vegetación y usos del suelo en los sectores ecológicos cartografiados en Mapa 1. Los números se refieren a los porcentajes de muestras registradas dentro de cada sector del mapa (una misma parcela puede contener más de una variable, con lo que los porcentajes no son aditivos).  
Smith 1979).