

## METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DEL PAISAJE MEDIANTE S.I.G. Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Matías MÉRIDA RODRÍGUEZ  
Departamento de Geografía  
*Universidad de Málaga*

**RESUMEN:** La comunicación ofrece los primeros resultados de una metodología de análisis y clasificación del paisaje que combina el uso de un Sistema de Información Geográfica con el análisis multivariante. Utilizamos variables de naturaleza física referidas a la Costa Oriental de la provincia de Málaga. Exponemos los fases seguidas y comentamos los resultados obtenidos.

**ABSTRACT:** This paper offers the first results of an analysis and landscape classification method wich tries to combine the use of GIS with multivariate statistical analysis. We use physical variables refered to the Malaga Oriental Coast. We explain the steps of the research and the analysis results.

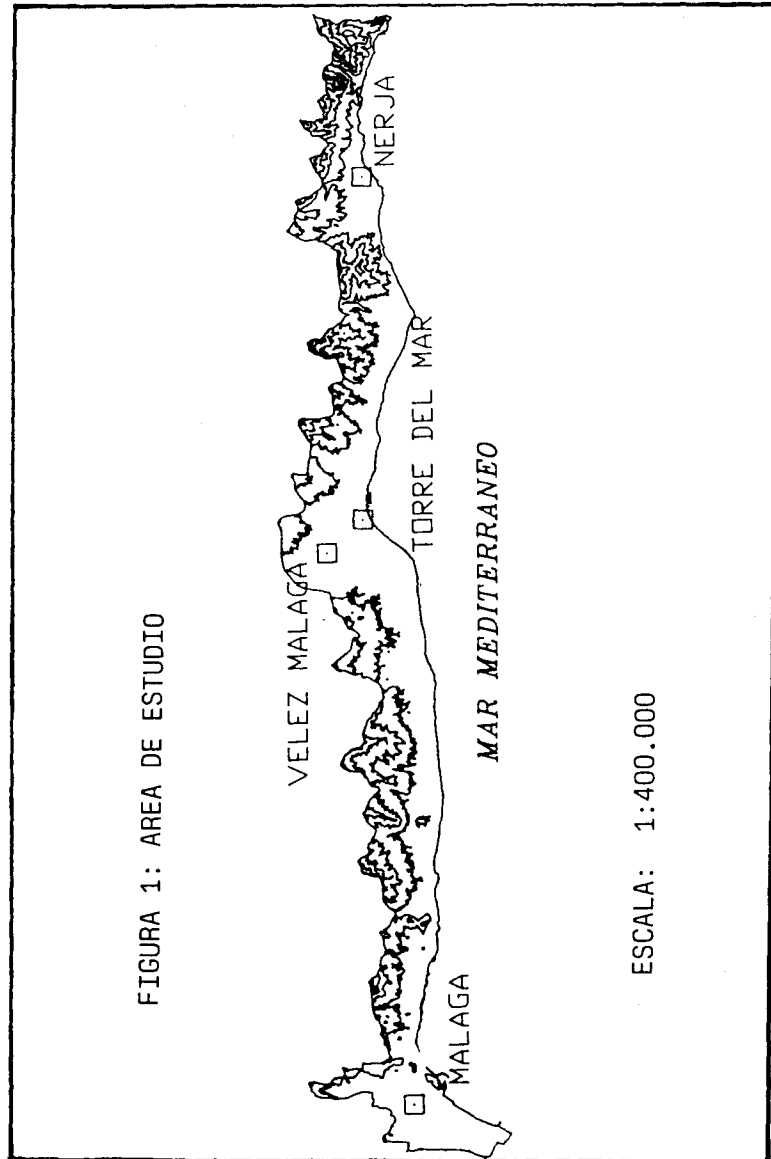
### INTRODUCCIÓN.

Esta comunicación tiene por objeto reflejar los primeros resultados de una estrategia metodológica cuyo objetivo es abordar el estudio del paisaje a través de un Sistema de Información Geográfica y el análisis multivariante. En concreto, nos centraremos, dentro de las numerosas variantes de este tipo de estudios, en las fases de análisis y clasificación del paisaje. Partimos de una determinada orientación metodológica, el análisis por componentes del paisaje, y abordamos su utilización solventando una de sus principales limitaciones: la utilización de unidades de medición apriorísticas (MÉRIDA, 1992). Mediante esta metodología pretendemos fundamentar la unidad de medida en las propias relaciones topológicas de los componentes del paisaje.

### ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio es la ciudad de Málaga y el litoral oriental de su provincia. Sobre esta zona (figura nº 1) se extienden, muy próximos al mar, los Sistemas

Béticos. Se trata, por tanto, de una zona de topografía montañosa, lo que repercute en la existencia de una estrecha llanura litoral sólo ensanchada en



cortos valles fluviales perpendiculares a la línea de costa, dentro de los cuales el más importante es el del río Vélez. La ciudad de Málaga en su zona oeste se extiende por otra llanura aluvial de importancia, el valle del río Guadalhorce. Los límites de la zona de estudio, de naturaleza topográfica, refleja este carácter montañoso, al discurrir por la línea de cumbres más inmediata al litoral.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio está formada básicamente por materiales del manto maláguide de la cordillera penibética. Son de naturaleza pizarrosa y ofrecen un modelado definido por montañas medias con laderas convexas de acusadas pendientes en sus flancos. En la zona oriental aparecen los mármoles del manto alpujárride, que suponen un contraste no solo litológico sino también paisajístico: morfología agreste, con acusadas pendientes y elevada altitud. Son, junto a los escasos retazos calizos de la cobertera maláguide, los únicos materiales calcáreos de la zona de estudio.

Otras formaciones de menor impronta sobre el paisaje completan el esquema geomorfológico: los materiales triásicos, en la base de los materiales calcáreos y con una topografía ondulante, y las formaciones cuaternarias, producto de una intensa acción erosiva que ha generado llanuras aluviales y litorales de singular importancia, a pesar de su reducida extensión, para el desarrollo humano (poblamiento, cultivos, comunicaciones, etc).

## **METODOLOGÍA.**

### ***Selección de las variables.***

Podemos agrupar las variables en dos tipos: las de naturaleza física y las de naturaleza humana. Dentro de las físicas encontramos las siguientes: altitud, litología, pendientes, cercanía a la línea de costa, cercanía a ríos, y exposición. Sobre estas variables hemos trabajado en un primer momento y es de ellas, la base física de la zona de estudio, de las que ofrecemos los primeros resultados de la metodología. Las variables de naturaleza humana, a incluir en una segunda parte del análisis, se agrupan en tres bloques: usos del suelo, sistema de poblamiento, y vías de comunicación.

### ***Fuentes.***

Las fuentes utilizadas son de diversa índole: mapas topográficos, cartografía temática y fotografía aérea. El trabajo de campo quedaba para aquellos casos en los que se hacía necesario para solventar carencias de las fuentes de información indirectas. La fuente topográfica utilizada han sido el Mapa Militar de España editado por el Servicio Geográfico del Ejército E= 1:50.000 y el Mapa

Topográfico de Andalucía editado por la Junta de Andalucía a escala 1:10000. Esta última ha sido la fuente topográfica principal, escogida tanto por su escala como por su proximidad temporal (1990-91). La cartografía temática utilizada ha sido el Mapa Geológico de España. La fotografía aérea procede de vuelos a escala 1:20.000 de 1990 y 1992.

#### ***Recopilación de la información.***

La variable "altitud" la hemos obtenido creando intervalos entre las diferentes curvas de nivel. De este modo establecimos los siguientes grados: 0-50, 50-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-500 y 500 y más metros. Disponíamos así de un mapa isométrico con zonas de igual altitud en razón de los datos aportados por la cartografía.

Respecto a la variable "pendientes", no disponíamos de una fuente cartográfica, por lo que tuvimos que elaborar el mapa clinométrico a partir del mapa topográfico. Hemos intentado seguir el método más idóneo desde un punto de vista paisajístico, escogiendo como unidad la pendiente media por laderas. Realizamos los siguientes intervalos en porcentajes : 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, y más del 50% .

Variable "litología". Hemos escogido los diferentes tipos de litología por criterios paisajísticos. Importaba más el cromatismo y el modelado que la naturaleza química o cronológica del material en cuestión. Así, hemos seleccionado los materiales paleozoicos pizarrosos, en los que se mezclan filitas, grauwacas y gneises con calizas alabeadas, que aunque de origen y composición notablemente diferente, ofrece un comportamiento ante la erosión y consiguientemente un modelado muy similar al resto de materiales pizarrosos predominantes en el sustrato del Bético de Málaga. Siguiendo este criterio, otros grupos dentro de la variable litología eran los compuestos por rocas calcáreas (calizas, dolomías, mármoles), formaciones mio-pliocenas, materiales aluviales, cuaternarios (glacis, coluviones, etc), playas y formaciones triásicas.

Variable "exposición". La hemos seleccionado en función de su importancia intrínseca y extrínseca o indirecta (mayor o menor cubierta vegetal herbácea, grado y tipo de luminosidad solar, etc). La unidad de medida ha sido la ladera, pero en sentido amplio; es decir, las grandes exposiciones, considerando que la compartimentación del relieve, aunque real, sería inversamente proporcional a la imagen real del paisaje. Siguiendo este criterio se seleccionaron laderas al menos destacables a escala 1:50000. Al final, tras una primera selección que incluía 8 exposiciones (N,S,E,W,NE,NW,SE y SW), se decidió dejar las 4 más significativas (N,S,E,W).

Variable "cercanía a ríos". Hemos escogido los ríos y arroyos más significativos y para ello hemos establecido como criterio para discriminarlos seleccionar solo aquellos que aparecen cartografiados en mapas escala 1:50000, tanto de cauce continuo como discontinuo. El resto de elementos del sistema fluvial fueron considerados como accidentes del relieve. Esta variable quedaría plenamente formada tras diversas operaciones de análisis espacial que posteriormente explicaremos.

Variable "cercanía a la línea de costa". Ha sido seleccionada por su indudable repercusión paisajística: dos zonas de similares características físicas se diferenciarán en función de su carácter más o menos costero, de su cercanía a la línea de costa. En este caso la recogida de información era inexistente, ya que las zonas se van a generar mediante el procesado de la información en el SIG y disponíamos de la línea de costa como parte integrante del límite de la zona de estudio. Se establecieron los siguientes intervalos: 0-100, 100-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-3000 y 3000 y más metros.

#### ***Digitalización de la información.***

El siguiente paso consistió en la digitalización de la información. Paso previo al procesado de la información, la digitalización de la información la llevamos a cabo mediante el programa AutoCAD versión 11. Introducimos todas las variables situándolas en el mayor número posible de capas diferentes. Por ejemplo, las diferentes curvas de nivel eran digitalizadas en diferentes capas, lo que nos permitía agruparlas o dividir las en fases posteriores. Además, introducíamos entre las curvas de nivel un texto indicativo de la altitud (por ejemplo: entre las curvas 100 y 200 metros introducíamos el texto "150") con el fin de que nos sirviera de indicador de la altura en el procesado de la información. Esta misma operación se repitió con otras variables como, por ejemplo, la exposición.

#### ***Procesamiento de la información.***

Una vez digitalizadas, las diferentes capas de información se trasladaron al Sistema de Información Geográfica. Hemos utilizado como instrumento el SIG ARC/INFO, en su versión 3.4D. A cada variable se le asignó un campo específico y determinados valores. Por ejemplo, a la variable altitud, convertida ahora en una cobertura, se le creaba el campo "altura", y se les asignaba los valores correspondientes: 1, si el polígono era de 0 a 50 metros, 2 si era de 100 a 200, etc.

Una vez procesada la información, procedimos a la realización de diversas

operaciones de análisis espacial. La primera consistía en la transformación de las variables lineales en variables de naturaleza superficial, mediante la creación de zonas de influencia alrededor de las líneas. Esta operación, denominada buffering, se utilizó, dentro de las variables que estamos utilizando en este primer análisis, para las variables "cercanía a ríos" y "cercanía a la línea de costa". Para la primera sólo se consideró la zona más inmediata al curso fluvial, variando su extensión en función de la importancia del río. En cambio, consideramos que la variable "cercanía a la línea de costa" tenía una repercusión paisajística mucho mayor, por lo que zonificamos toda la zona de estudio en base a los siguientes intervalos: 0-100, 100-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-3000, y más de 3000.

Igualmente, a cada nueva cobertura, ya convertida en datos de superficie, se le asignó un nuevo campo específico. Hay que añadir que cada tipo de área de influencia (por ejemplo cada cercanía a la línea de costa) se realizaba mediante una operación de este tipo, haciéndose, por tanto, cada vez más complejo el proceso.

El segundo tipo de operación de análisis espacial que hemos desarrollado es la superposición automática de capas de información. Se han ido realizando diferentes superposiciones. En cada paso iba aumentando el número de polígonos hasta llegar, en algunos puntos, al límite del programa, por lo que fue necesario la eliminación de micro-polígonos. Finalmente, en la cobertura definitiva, producto de las diferentes uniones, se fueron depurando los campos procedentes de los archivos originarios. Cuando el número de polígonos excedía el volumen del programa, se procedió a la partición de la cobertura en diversos ficheros, los cuales, una vez realizadas las correspondientes operaciones, se volvían a unir. En estos casos era importante la creación de un campo específico, ya que tras las uniones había que disolver los antiguos límites.

Una vez conseguido la cobertura definitiva (figura nº 2), contábamos con 4381 polígonos. A continuación extrajimos de la cobertura el PAT y los convertimos en formato WK1, eliminando variables específicas del SIG como el área, perímetro, etc, dejando sólo el identificador del polígono y la relación de campos para cada variable. De este modo, preparamos el archivo para el análisis multivariante.

#### ***Realización del análisis multivariante.***

Se decidió escoger como procedimiento de análisis estadístico el análisis Cluster. No obstante, contábamos con un problema: la combinación de variables cuantitativas (altitud, pendiente, cercanía al mar) con variables cualitativas

(litología, exposición). La variable "cercanía a ríos" tiene un doble carácter: se puede entender como cualitativa (presencia-ausencia) o como cuantitativa con un recorrido corto (0-1). Hicimos diversas pruebas; en primer lugar, sustituir los recorridos de las variables por nuevas variables, correspondientes a cada momento del recorrido anterior. Así, por ejemplo, el valor de pendiente "4" pasó a denominarse como PENDIENT4 con valores de 0-1 (ausencia-presencia). De este modo, pasamos de contar con 6 variables de diversa naturaleza a contar con 32 variables de presencia/ausencia.

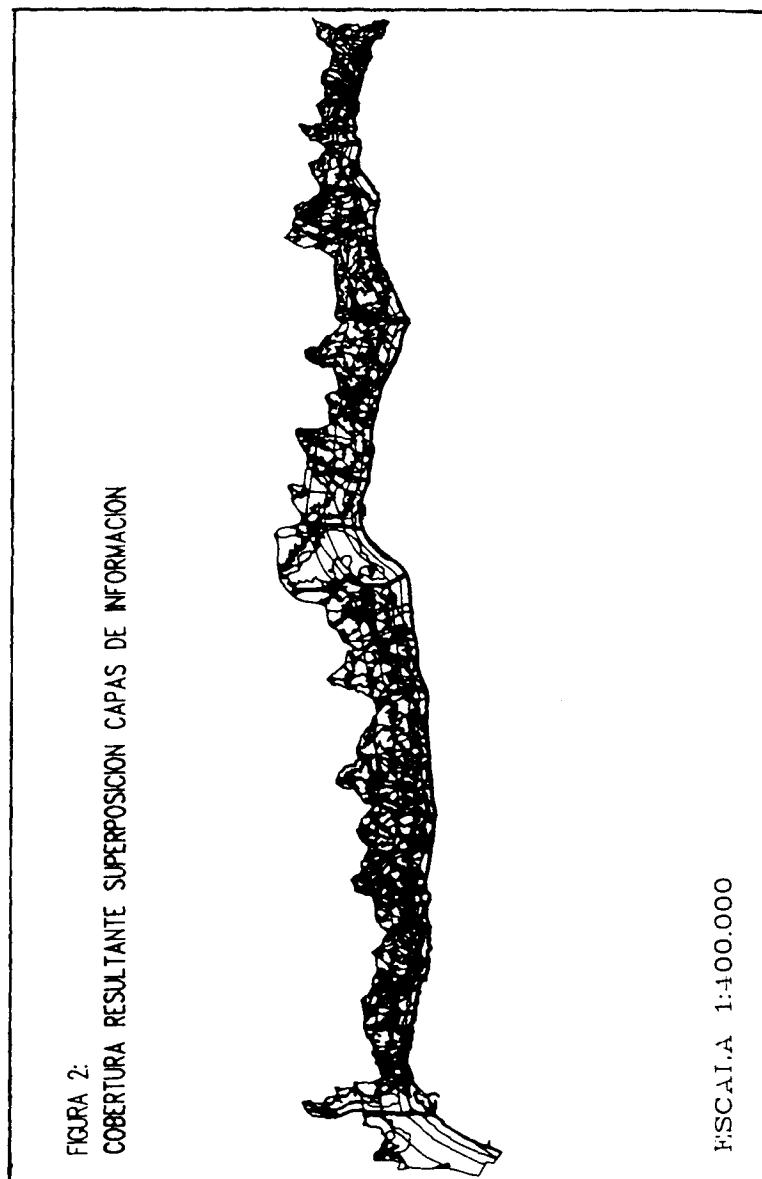
Se realizó un cluster nuclear con este material pero los resultados no fueron satisfactorios, debido sin duda a la mezcla de diferentes tipos de variables. Ante ello, decidimos aplicar una distancia, diferente a la euclídea, más apropiada para el tratamiento de variables cualitativas, como es la  $\chi$ . No obstante, los resultados tampoco resultaron plenamente satisfactorios.

Probamos a realizar un tratamiento estadístico diferente a las variables realizando un cluster de bloques, mediante el cual se agrupan previamente los casos en bloques de similar distribución. De este modo, los 4380 casos quedaron reducidos a 1234, con los que se procedió al análisis. Sin embargo los resultados, aunque interesantes, no nos eran útiles, dado que el block cluster no discrimina los bloques, sino que unos casos pueden estar registrados en dos bloques diferentes, dependiendo de que la distribución de las variables en uno puedan quedar contenida en la distribución de las variables de otro.

Finalmente, optamos por realizar un cluster nuclear con las variables de naturaleza cuantitativa (pendiente, altitud, cercanía a ríos, cercanía al mar) y añadirle posteriormente las variables cualitativas (litología, exposición) para comprobar mediante análisis de frecuencias el comportamiento de ellas sobre los cluster ya generados. Este fue el procedimiento estadístico que ofreció mejores resultados. Las variables cualitativas, independientemente del análisis de frecuencias, serán incorporadas al análisis en un segundo momento, sobre los cluster ya generados.

Se realizaron 3 análisis, de 10, 15 y 20 cluster respectivamente. Los resultados en formato .DAT fueron añadidos al PAT de la cobertura mediante la previa creación de un campo específico. De este modo, conocíamos en que grupo quedaba agrupado cada polígono en cada análisis cluster (10, 15 y 20) y, como consecuencia de ello, podíamos verlos reflejados cartográficamente y decidirnos por un tipo de análisis u otro en función no solo del movimiento de las cifras (o del recorrido de las medias, etc) sino también en función de su distribución espacial, incluyendo en este último apartado el dato, nada desdeñable, de la extensión del polígono: encontramos agrupaciones poco significativas

estadísticamente pero con una cierta repercusión espacial.





## RESULTADOS.

Expondremos en este punto los resultados obtenidos. Sin entrar en un análisis exhaustivo, comentaremos sus líneas más significativas. Esta información la completamos con un soporte gráfico. No obstante, dada la extensión de la zona de estudio hemos decidido incluir sólo detalles representativos, que aportarán sin duda una mayor expresividad. No obstante, en la exposición de la comunicación intentaremos ofrecerlos bajo soportes visualmente más atractivos.

*Cluster 10.* Los cluster más significativos son los siguientes (figura nº 3):

- 1.- Montaña media y zona interiores. Es el cluster dominante (60%) y responde al modelado más común en la zona: zonas de media montaña con pendientes medias (20-40%).
- 2.- Zona costera. Recoge los polígonos situados en la llanura litoral. Supone el 13.6% de los casos.
- 3.- Laderas de valles fluviales medios y altos. 10.3% de los casos. El análisis sitúa los valles bajos de los ríos más como zonas litorales que como zonas fluviales.
- 4.- Zona muy llana. Sólo 42 elementos (1%) pero de considerable extensión y muy definidos: zonas litorales muy llanas, coincidentes con zonas de expansión urbana: la zona oeste de Málaga, llanura Torre del Mar, y zona de Valle Niza. Este cluster se repite de forma idéntica en los cluster de 15 y 20 elementos.
- 5.- Zonas más elevadas. A partir aproximadamente de los 300 metros, con pendientes acusadas. 7.4% de los casos.
- 6.- Zona costera elevada: acantilados de la zona montuosa oriental. 2.2% de los casos.
- 7.- Encajamientos fluviales en zona de acantilados. Representa desembocaduras fluviales estrechas y con fuertes pendientes. 2.0% de los casos.

La litología se relaciona de un modo bastante coherente con los diferentes cluster, traduciendo las conexiones existentes entre topografía y litología. Los materiales paleozoicos predominan en el cluster dominante (grupo 1), en el que también destacan los materiales aluviales, en el grupo 5 (zonas elevadas) y en el 3 (valles medios y altos). Aunque estos materiales siguen teniendo una presencia

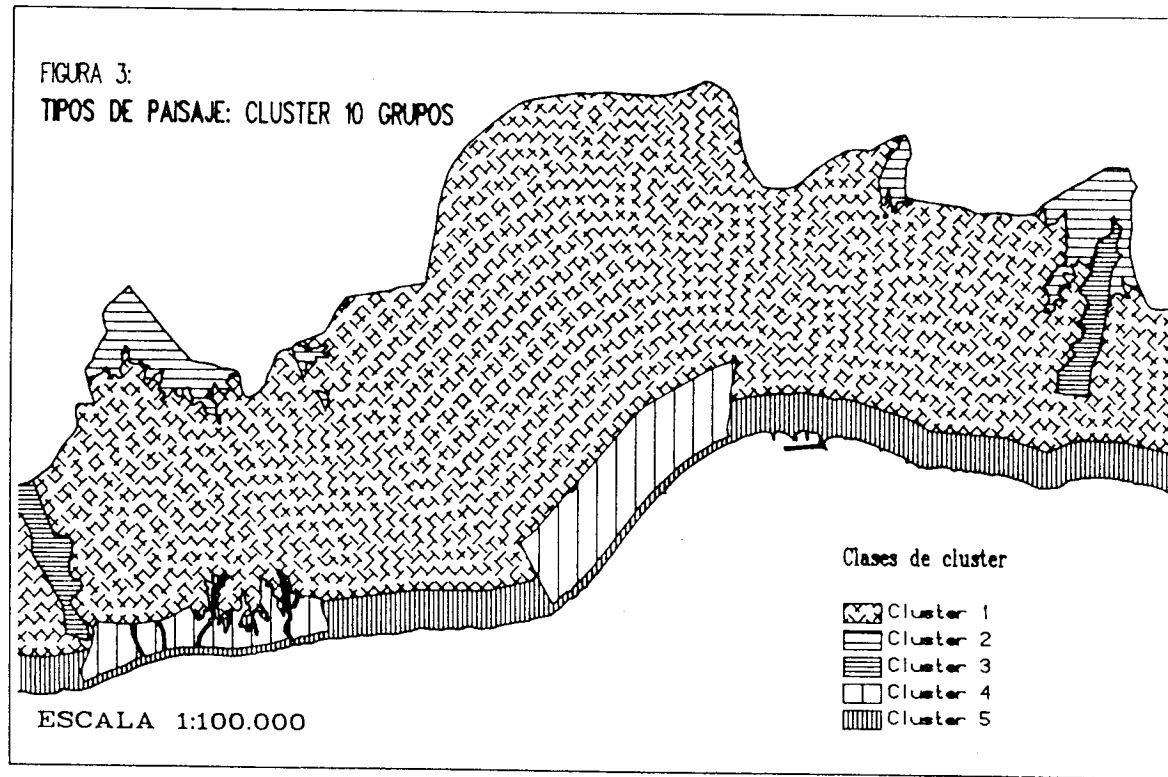
significativa en los restantes cluster, los materiales carbonatados adquieren particular importancia en el grupo 6 (acantilados) y 7 (encajamientos fluviales en zonas acantilados). Los materiales mio-pliocenos y los cuaternarios (glacis, aluviales, playas) son particularmente significativos en el cluster 9 (zona costera) y en el 4 (zonas más llanas). En estos últimos, como en casi todos los demás, los materiales paleozoicos, sin ser claramente dominantes, siempre aparecen en un porcentaje muy estimable.

Existe igualmente una clara relación con la variable "exposición". Podemos diferenciar dos grupos: la exposiciones perpendiculares a la línea de costa (E y W) y la exposición sur, siendo esta última la predominante en el área de estudio. La exposición norte, aunque existente, está poco extendida y no se ha asociado con claridad a ningún cluster aunque éste fuera minoritario. De este modo, las exposiciones Este y Oeste predominan en los cluster relacionados con valles fluviales y en otros más específicos, mientras que la exposición sur domina en los cluster 2 (zona costera), 4 (zonas bajas y llanas) y 6 (acantilados).

Predomina igualmente, aunque en menor grado, en el cluster principal. Finalmente, en las zonas más elevadas y agrestes los dos tipos de exposiciones tienen similar representación debido a la mayor compartimentación del relieve.

**Cluster 15.** Las líneas generales de los cluster se repiten en el cluster de 15 (figura nº 4). La gran diferencia estriba en el desmembramiento del cluster principal (media montaña, zonas de interior). Este pierde casi 1000 elementos que pasan a constituir 3 nuevos cluster, quedando el principal como zona de montaña media y situada al interior pero sin ocupar todo el espacio interior (42.7% de los casos). Así, queda una amplia zona interior que ocupan los tres nuevos cluster:

- 1.- Zona interior, montaña media. Sería el equivalente al principal pero en un espacio más alejado de la línea de costa. 14% de los casos.
- 2.- Zona interior, de montañas más elevadas y mayores pendientes. Representa el 5% de los casos.
- 3.- Zona interior, de relieves suaves. Supone el 5% de los casos. Incluye los tramos interiores de los valles fluviales más desarrollados espacialmente, como el valle del río Vélez.



Las relaciones de los diferentes cluster con la litología sigue en las líneas antes descrita. En los nuevos cluster surgidos del anterior cluster principal, siguen predominando los materiales paleozoicos, particularmente en las zonas interiores de montaña media y zonas más elevadas (grupos 1 y 2). En el cluster 3, que representa a la zona interior más llana, sigue predominando pero mezclándose con el mio-plioceno, el triás y los materiales aluviales.

La variable exposición se comporta de modo similar al análisis anterior. En estos nuevos cluster predomina la exposición sur en el grupo 3 (relieves suaves), mientras que en los grupos 1 y 2 se mantiene equilibrio entre exposición sur y exposiciones perpendiculares a la costa (E y W).

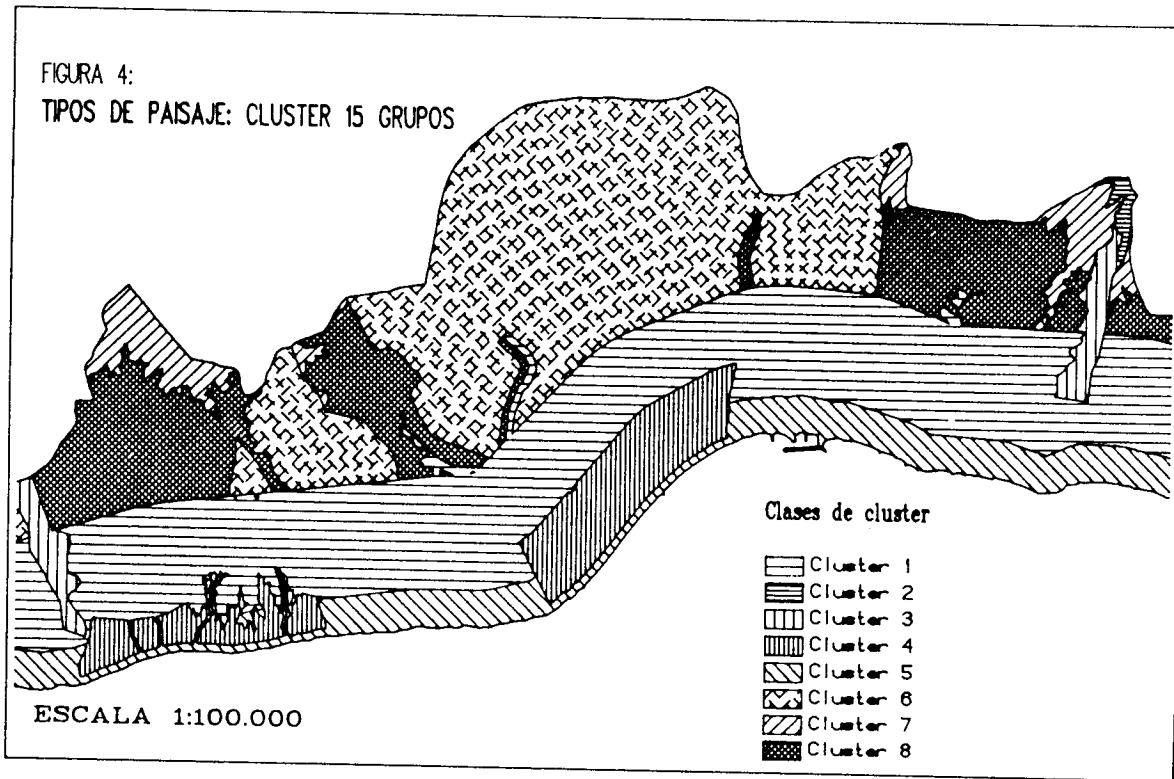
*Cluster 20.* El cluster de 20 grupos prosigue con la diferenciación de los elementos que componen el cluster principal, así como con la proliferación de pequeños cluster muy específicos pero que por su propia especificidad pierden su componente paisajística (figura nº 5). Además, continúa la mayor diferenciación de la zona montañosa oriental, marmórea, en pequeños grupos que resaltan aún más su particularidad.

Como decimos, prosigue el proceso de desagregación del cluster principal, que pasa a contener el 38.4% de los casos. Ahora se le añade una nueva diferenciación: si en el cluster de 15 había quedado como una banda semiinterior, ahora esa banda queda dividida en dos: el cluster principal y uno nuevo que recoge los elementos con una mayor accidentabilidad del terreno. Este último recoge el 8.4% de los casos. Otra particularidad de este análisis es el desdoblamiento de los valles fluviales en dos clases, coincidentes con los tramos medios y altos respectivamente.

Relaciones con la variable "litología". Los materiales paleozoicos siguen predominando en el cluster principal, acentuándose con más claridad en el nuevo cluster (zonas más montañosas). En cambio, en los valles fluviales, el predominio se mantiene en los valles altos; en los tramos medios, aunque su presencia es importante, predominan los materiales calcáreos.

Relaciones con la variable "exposición". La exposición sur sigue predominando, a pesar de su desdoblamiento, en el antiguo cluster principal. Igualmente, las exposiciones Este y Oeste predominan en los dos grupos de valles fluviales.

FIGURA 4:  
TIPOS DE PAISAJE: CLUSTER 15 GRUPOS



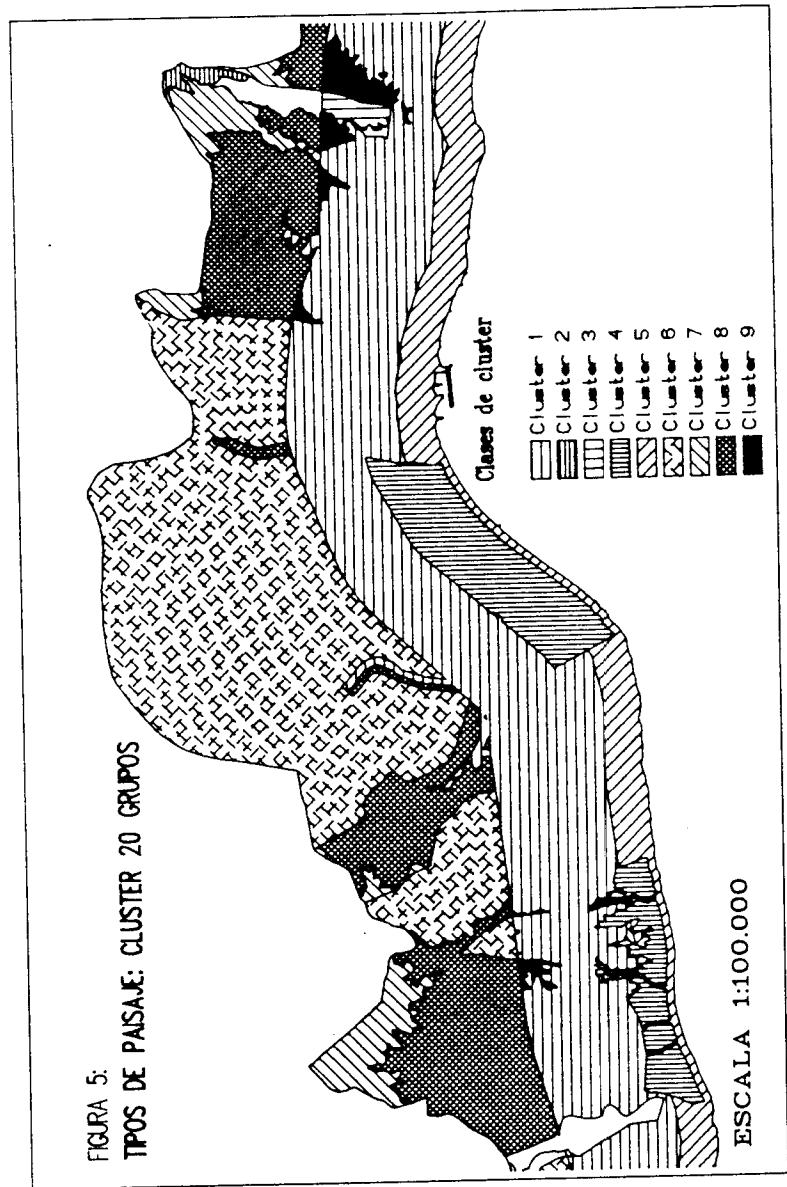


FIGURA 5:  
TIPOS DE PAISAJE: CLUSTER 20 GRUPOS

## CONCLUSIONES.

A pesar del carácter experimental de la metodología, podemos valorar su aplicación como altamente satisfactoria. Hemos podido comprobar cómo las líneas generales del medio físico quedan reflejadas en el análisis y es el propio análisis quien establece sus límites. Observamos, por tanto, la posibilidad de efectuar estudios de análisis y clasificación paisajística sin acudir a más referencias externas que las propias relaciones topológicas existentes entre sus elementos.

## REFERENCIAS.

- DE BOLOS I CAPDEVILA, M<sup>a</sup>, (1992): *Manual de Ciencia del Paisajè*, ed. Masson, Barcelona.
- MÉRIDA RODRÍGUEZ, M., (1992): "Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica a los estudios de paisaje". *Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Universidad de Zaragoza
- COUNTRYSIDE COMMISSION (1988): *A review of recent practice and research in landscape assessment*. Cheltenham.

## Agradecimientos.

En la realización de esta investigación, específicamente en la aplicación del análisis cluster, he contado con la colaboración de Ramón Hidalgo, del Servicio Central de Informática de la Universidad de Málaga.