

Un sistema de análisis territorial para aplicaciones arqueo-geográficas.

Pilar Fernández Millán
Juan Manuel Vicent García

Centro de Estudios Históricos, CSIC. Serrano 13,
28001 Madrid.

Los sistemas que aquí se presentan han sido desarrollados en el curso del proyecto de investigación "Aspectos socio-económicos del comienzo de la metalurgia en el Sureste de España (interior de la provincia de Murcia)" realizado por el Departamento de Prehistoria del Centro de Estudios Históricos (C.S.I.C.) entre los años 1.986 y 1.989, y actualmente en curso de publicación. Se trata de una investigación extensiva en Arqueología del Paisaje, acerca de cuyos objetivos y planteamientos teóricos y metodológicos generales nos remitimos al primer volumen de memorias que pronto verá la luz (LOPEZ et al. (Eds.), e.p.).

La orientación fundamentalmente geográfica del proyecto y su carácter extensivo y experimental, determinaron desde el primer momento la necesidad de disponer de herramientas flexibles de tratamiento de la información geográfica que permitieran la aplicación de ciertas técnicas de modelización matemática a la resolución de problemas locacionales. En concreto, el proyecto se articuló en torno a una reinterpretación probabilística del modelo clásico de Análisis de Captación Económica (A.C.E.)¹, cuya finalidad es la formalización del problema de la localización de asentamientos prehistóricos en relación con los recursos explotables de su territorio, en términos de un modelo de análisis de la varianza (vid. VICENT, e.p.).

Este objetivo plantea dos cuestiones: por una parte, el problema general de la transformación de una base analógica (cartográfica) en un modelo probabilístico, mediante la aplicación de procedimientos consistentes de muestreo; por otra, la cuestión particular de la construcción del modelo locacional del A.C.E. en un contexto específico de aplicación.

La tarea que desempeñan los sistemas informáticos que presentamos se ajusta a estos objetivos sin hacer depender el primero del segundo. Es decir, permite resolver el problema de la construcción de modelos estadísticos a partir de mapas temáticos recogidos en bases cartográficas numéricas (B.C.N.), sin necesidad de ajustar este cometido a las necesidades específicas del A.C.E. Pero al mismo tiempo, permite la modelización de problemas locacionales según las prescripciones de este último modelo, y su traducción a términos probabilísticos.

En resumen, el S.I.A.T. (Sistema Integrado de Análisis Territorial) no está concebido para realizar

¹ Traducimos así el término inglés "Site Catchment Analysis" (S.C.A.), siguiendo a GILMAN y THORNES (1985a).

las funciones de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.), sino para utilizar sus productos en procesos de modelización geográfica que requieran el análisis de áreas o de distribuciones de puntos. La creación y gestión de las B.C.N. a partir de las cuales se planteará el análisis, se debe realizar mediante sistemas comerciales² capaces de generar archivos en formato ASCII, conteniendo las coordenadas de puntos que integran polígonos, líneas y puntos aislados, objetos cartográficos sobre los cuales operará el análisis.

El SIAT consiste en un conjunto de programas en lenguaje TURBO BASIC³, agrupados en tres módulos independientes:

- Módulo CRONOX: permite crear modelos isócronos del territorio a partir de muestreos sistemáticos de la representación cartográfica de la topografía.
- Módulo FENIX: permite el análisis estadístico de mapas temáticos, así como la combinación de distintos mapas y su manipulación.
- Módulo de utilidades: proporciona algunas herramientas de trabajo para manejar los datos y productos del sistema, intercambiarlos con otros programas y obtener datos adicionales (superficies, perímetros, centroides, coeficientes de contracción topográfica, etc.).

A continuación se describen con algún detalle las características de estos módulos.

1) Módulo CRONOX

Permite la formalización del modelo cartográfico del A.C.E. mediante la definición de "territorios" y "áreas de territorio" por el trazado de curvas isócronas con respecto a un emplazamiento central a partir de la información contenida en mapas topográficos convencionales. El método utilizado se basa en la simulación de trayectorias en las que la velocidad convencional de marcha depende de la variación clinométrica, que se introduce así en el cálculo de la distancia lineal recorrida en intervalos de tiempo prefijados.

El programa CRONOX es en realidad una generalización algorítmica del procedimiento utilizado por A. Gilman y J. B. Thornes en su importante trabajo *Land use and Prehistory in Southeast Spain* (1985a). Se trata de un procedimiento convencional para introducir la topografía en un modelo locacional en cuanto factor del coste de producción. No es, por lo tanto, un sistema de estimación positiva, aunque sí bastante aproximada, de un modelo isocrónico real del territorio.

El programa CRONOX consiste en un algoritmo iterativo de interpolación numérica, que opera sobre una tabla asumida de correspondencias entre curvas de nivel (a una escala dada) y distancia recorrida en un intervalo prefijado de tiempo. En su versión actual, CRONOX incluye (en sentencias DATA) la tabla propuesta por Gilman y Thornes (1985a:38), que presupone los mapas 1:50000 con curvas equidistantes 20 m. El procedimiento es válido para cualquier otra tabla o escala, modificando las sentencias correspondientes.

El sistema permite calcular por interpolación a partir de la tabla asumida el tiempo invertido en una distancia lineal dada, conocido el número de curvas de nivel cruzadas por el recorrido.

El procedimiento comienza por solicitar las coordenadas del origen de la o las trayectorias (perfiles) que se desean isocronizar, el número de éstas y la longitud constante de los segmentos en los que se dividen, así como el nombre para el archivo en el que se guardarán los resultados, y un código de identificación que permite archivar independientemente los datos de cada perfil. Luego comienza el procedimiento iterativo, que se alimenta por teclado con números enteros, resultantes del recuento del número de veces que la trayectoria cruza curvas de nivel (o cursos de agua, u otros accidentes previamente valorados) en el segmento que en ese momento el programa solicita en pantalla, indicando el número del perfil, la posición de orden del segmento y la distancia de su comienzo al origen. Antes de pasar a solicitar el siguiente dato, el programa mostrará los valores acumulados de la distancia recorrida, el tiempo invertido y la velocidad convencional calculada para el segmento. El programa permite establecer hasta cuatro umbrales de tiempo. Al alcanzar el valor acumulado del tiempo en cada perfil uno de estos valores, las coordenadas del punto serán archivadas como vértices del polígono isócrono correspondiente a ese umbral. Los valores por omisión son los establecidos por Gilman y Thornes (*loc.cit.*): 12, 30, 60 y 120 minutos. Al alcanzar el último valor, el procedimien-

² En el proyecto se han utilizado concretamente los sistemas MAPEDIT y SURFER, aplicados sobre las fuentes cartográficas y fotográficas mediante un dispositivo de digitalización (tableta BENSON 6451).

³ Los requerimientos de soporte físico son mínimos, pudiendo utilizarse en cualquier ordenador PC/XT/AT compatible, dotado con un sistema gráfico EGA o VGA y 640 Kb de RAM.

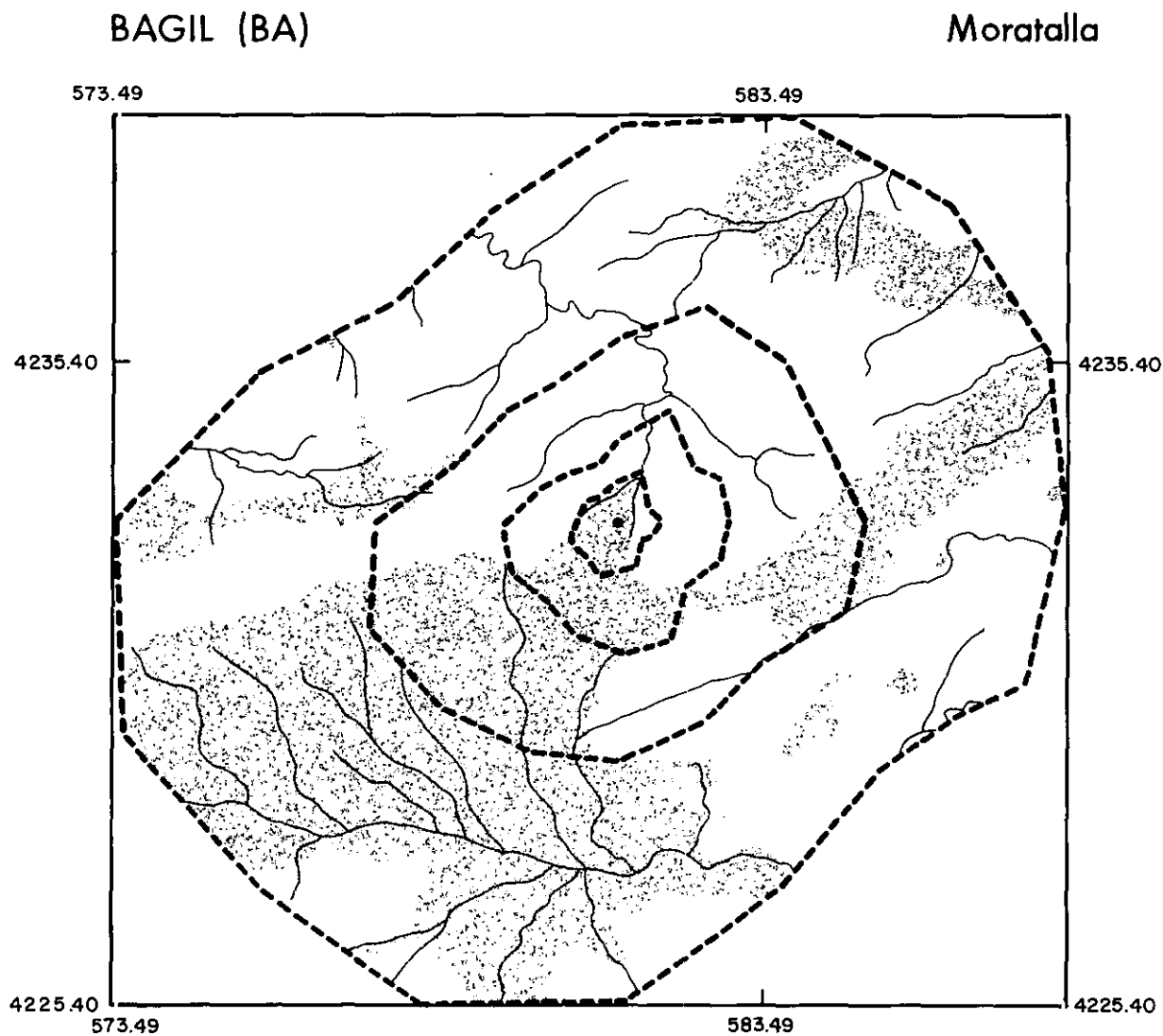


Figura 1.—Mapa de curvas isócronas obtenidas por el módulo CRONOX para intervalos de 12, 30, 60 y 120 minutos. Yacimiento de Bagil (Moratalla, Murcia).

to pasa al siguiente perfil, o se desconecta, cerrando los archivos de resultados, si se han realizado todos los solicitados. El producto final es una base cartográfica numérica con el formato del sistema, que contiene un mapa formado por polígonos isócronos con respecto al origen de los perfiles.

En la figura 1 puede verse un ejemplo de uno de estos mapas, producido por CRONOX a partir de dieciseis perfiles⁴, divididos en segmentos de 500 m

de longitud. Las curvas isócronas corresponden a los valores por omisión, para intervalos de 12, 30, 60 y 120 minutos.

La validez del procedimiento CRONOX reposa sobre bases estadísticas, al margen de las cuales su utilización no está indicada. En efecto, el procedimiento de toma de datos (trazado de perfiles, determinación de segmentos, lectura del mapa topográfico) debe ser concebido como un proceso de muestreo

⁴ Al calibrar el programa se comprobó que a partir de este número de trayectorias la información aportada por cada trayectoria adicional decrece por debajo de lo razonable, si tenemos en cuenta que el coste de la captación de información, principal inconveniente del procedimiento, se mantiene y acumula. Esta

conclusión se obtuvo comparando la pérdida de superficie de un polígono de n vértices, con respecto a una circunferencia de igual radio (es decir, un polígono de infinitos vértices). Para 16 vértices, la pérdida de superficie es inferior al 5%.

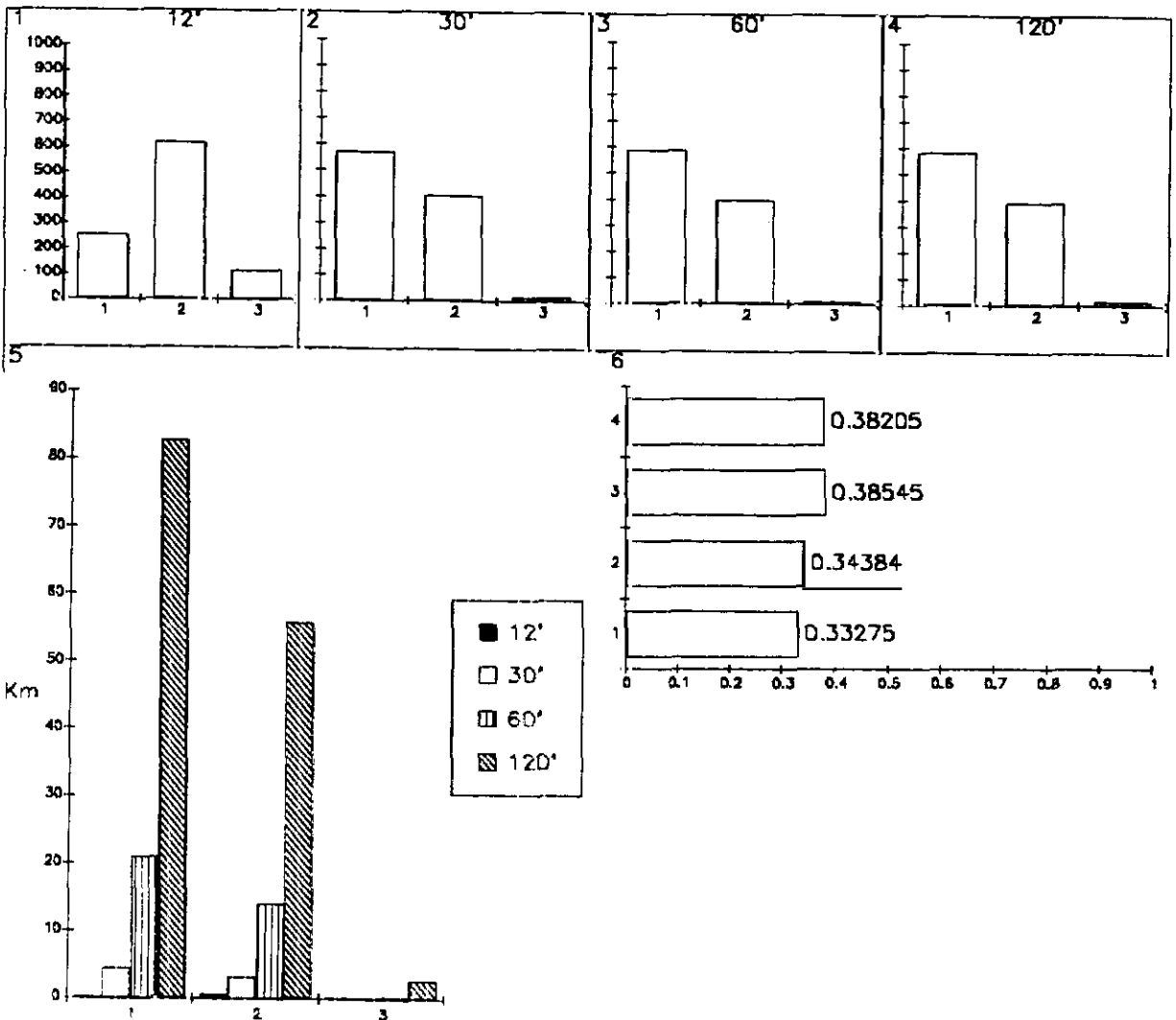


Figura 2.—Histogramas de frecuencias de usos del suelo en los territorios isócronos del yacimiento de Bagil (Moratalla): 1) monte, 2) secano, 3) regadío.

sistemático agrupado de la topografía⁵. El grado de precisión de la representación de la variabilidad clinométrica del territorio que se obtenga, dependerá de decisiones como el número de perfiles y segmentos. Dicho grado de precisión se expresa como la pérdida de información sobre las dimensiones reales de un área isócrona con infinitos vértices y la superficie estimada para la misma a partir de un número

determinado de ellos⁶. En cualquier caso, se trata de decisiones estrictamente probabilísticas, que solo pueden adoptarse dentro de un conjunto consistente de hipótesis estadísticas relativas al conjunto de la investigación.

2) Módulo FENIX

La función de este módulo es el análisis estadístico de mapas temáticos mediante un procedimiento gráfico, que sigue las siguientes etapas:

(1) preparación de un mapa, mediante la combinación de varios si es necesario. El programa proporcio-

⁵ El muestreo sistemático agrupado consiste en la división de la población (en este caso la pendiente de todos las posibles trayectorias concéntricas) en un número de agregados o unidades muestrales (los perfiles), compuestos por elementos (los segmentos). Las características de estas unidades se establecen a partir de criterios estadísticos explícitos (vid. COCHRAN, 1978)

⁶ Vid. nota 4.

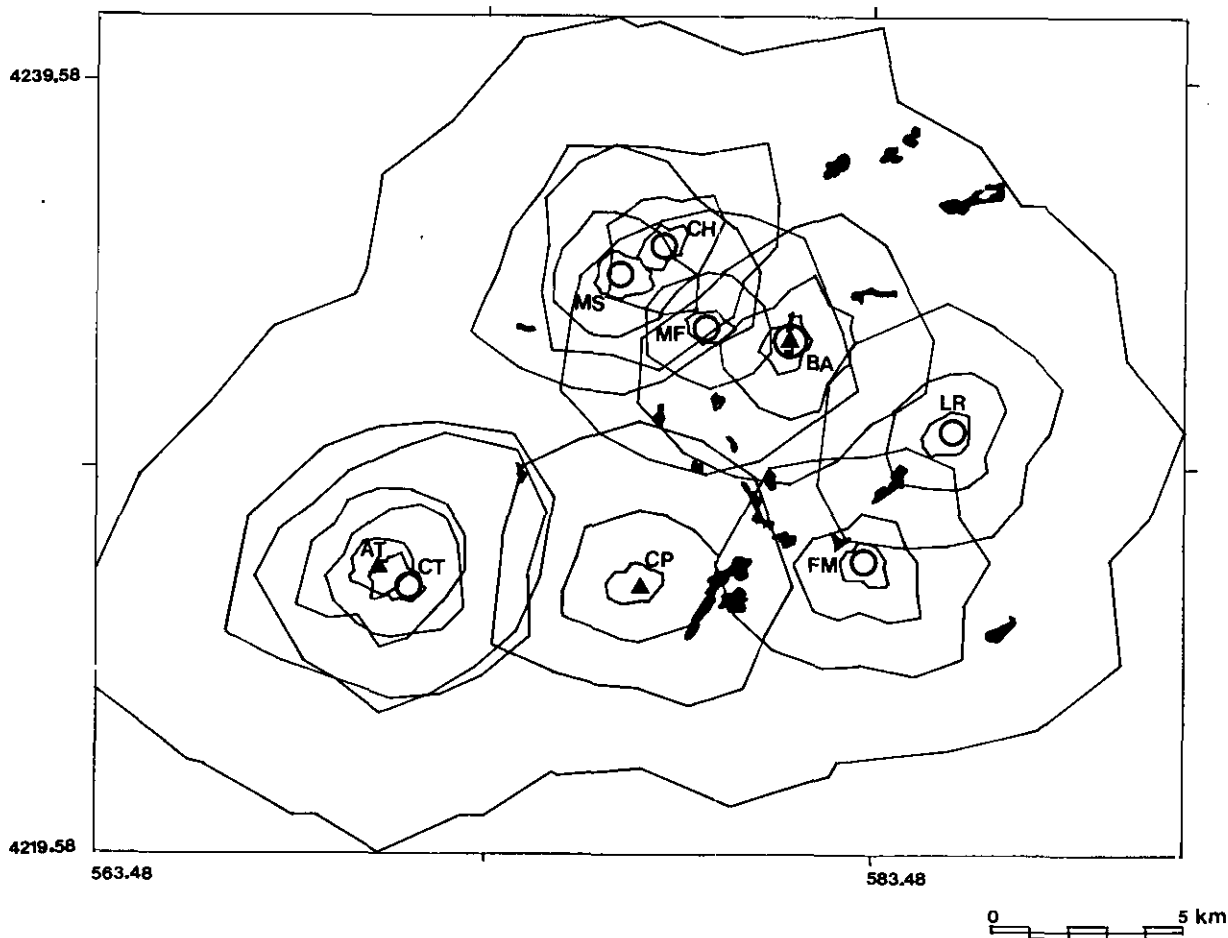


Figura 3.- Modelo espacial de territorios isócronos de explotación para diversos yacimientos de la zona de Moratalla (Murcia).

na varias utilidades para el manejo y representación, combinación y corrección sobre la pantalla de polígonos, curvas y puntos. Permite operar con los nombres de estos objetos y determinar la escala de la representación. El caso típico es la combinación de un mapa isócrono producido por CRONOX y un mapa de usos del suelo, como en el ejemplo de la figura 1.

(2) asignación de códigos a las diferentes categorías representadas por los polígonos y selección de aquéllas que se quiere analizar. Por ejemplo: se desea analizar la distribución de terrenos de regadío y *secano* en el área de 30 minutos del mapa de la figura 1.

(3) generación de muestras aleatorias de puntos de acuerdo con el modelo de muestreo prefijado. Estas muestras se proyectan sobre el mapa. A cada uno de estos puntos se le asignará el código correspondiente al área en la que resulte estar situado y la información resultante será grabada en un archivo independiente, que puede ser tratado con un programa de estadística.

La distribución de frecuencias de cada código en la muestra debe representar, si el muestreo ha sido correctamente planteado, la proporción de cada categoría de terreno en el área seleccionada. Conociendo la extensión total de ésta podemos expresar estas proporciones como superficies de cobertura. En la figura 2 se recogen los resultados de un análisis del mapa de la figura 1 en el que se trataba de determinar la distribución de tres categorías de uso del suelo —“monte” (1), “*secano*” (2) y “regadío” (3)— en las cuatro áreas isócronas. Para ello se generaron cuatro distribuciones aleatorias independientes, de 1000 puntos cada una, y se proyectaron sobre sus correspondientes áreas isócronas. Los histogramas 1 a 4 representan las frecuencias absolutas de cada categoría en cada área isócrona. El gráfico 5 representa comparativamente las superficies de cobertura de cada tipo de terreno en cada área isócrona.

Aunque el uso típico del módulo FENIX es el análisis de modelos A.C.E. simples, como el recogido

do en las figuras, puede ser usado para cualquier problema de análisis de áreas, que implique el establecimiento de las dimensiones de intersecciones de polígonos. La flexibilidad del interfaz gráfico permite la creación y análisis de modelos espaciales bastante complejos, como el representado en la figura 3. En general, puede considerarse como un dispositivo polivalente de análisis de áreas, cuyas potenciales aplicaciones en la Arqueología del Paisaje son de una amplitud que no es necesario comentar.

3) Módulo de utilidades.

El módulo de utilidades consta de varios programas independientes que permiten (1) la exportación e importación de datos y (2) la realización de algunos procedimientos analíticos.

Los programas de manipulación de datos permiten la preparación de archivos formateados para su uso por FENIX a partir de bases cartográficas numéricas en formatos externos, así como la transformación de los productos de CRONOX y FENIX a estos mismos formatos (en el presente caso Golden, MapEdit y AtlasGraphics) en los que se apoya el SIAT. Esto permite que los productos del análisis puedan ser manipulados y editados con los procedimientos propios de estos sistemas.

Los procedimientos analíticos incorporados permiten el cálculo del área, perímetro y posición del centroide para polígonos aislados o series de polígonos, así como imprimir los resultados o grabarlos. En el caso de que se trate de polígonos isócronos,

es posible además calcular el "coeficiente de contracción topográfica" (CCT)⁷. Este es el producto del cociente entre la superficie calculada para un área isócrona de un número de vértices dado y el área de un polígono del mismo número de vértices en el caso de nula pendiente (0 curvas de nivel atravesadas por cada perfil). Se trata de un índice que varía entre 0 y 1, permitiendo establecer para cada área isócrona el grado de alteración topográfica y compararla con otras, así como retirar el efecto estadístico de la heterogeneidad topográfica sobre la varianza de los factores locacionales considerados en un problema de A.C.E. (vid. GILMAN y THORNES, 1985a). El gráfico 6 de la figura 2 muestra los valores de los CCT para las cuatro áreas isócronas del ejemplo.

BIBLIOGRAFIA

- COCHRAN W.G.
1978 *Técnicas de muestreo*. 7ª reimpr., C.E.C.S.A., Mexico.
- GILMAN A. y THORNES J.B.
1985a *Land-use and Prehistory in Southeast Spain*. George Allen & Unwin, London
1985b *La Prehistoria y el uso del suelo en el Sureste de España*. Fundación Juan March, Madrid.
- LOPEZ, P. (Ed.)
e. p. *El cambio cultural en la Comarca Noroeste de Murcia entre el IV y II milenios a.C. Volumen I: estudios geográficos y medio-ambientales*. C.S.I.C., Madrid.
- VICENT, J.M.
e.p. "Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueo-geográfica", en LOPEZ, P. (Ed.), e.p.

⁷ Traducimos así la expresión "ruggedness coefficient" utilizada por Gilman (GILMAN y THORNES, 1985a).